Сагитовские чтения – 2007г. Москва, ГАИШ, 6 февраля 2007г.

## Лунно-солнечные приливы

## по деформационным наблюдениям

<u>Милюков В.К.,</u> Копаев А.В. Лагуткина А.В., Миронов А.П.,

#### Мясников А.В

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга

milyukov@sai.msu.ru



The Elbrus volcano is the highest point of Europe. The altitude of the west top is 5643 m, the altitude of the east top is 5620 m. The "saddle" between the tops is lower at 270 m and 250 m. Elbrus is classified as an active volcano with clearly dated historical eruptions in the Holocene.

5643

### Баксанская геодинамическая обсерватория ГАИШ МГУ

Location: Baksan canyon, 20 km apart from Elbrus volcano

Latutude 43°12′, Longitude – 42°43′,



## Баксанский лазерный интерферометр



1, 2. - Вакуумные камеры. 3,4,5. - Сильфоны. Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub>, Т<sub>3</sub>. - Датчики температуры. Р. - Датчик давления

Strain variation during 20 months (Nov 2004 – July 2006)

Temperature variation of the rock

Pressure variation



## оп иидымофец йондохои кидысэнелмой метеорологическим факторам.



1. - исходная деформация; 2. - регрессионный полином, построенный по метеоданным; 3. - компенсированная деформация, свободная от термоупругих и барических деформаций; 4. - компенсированная деформация с убранным приливом.

## Приливные деформации









M2: 12h 25m S2: 12h 00m



# Параметры основных приливных волн

| Символ                  | Частота<br>[град/ч] | Период<br>[час] | названия волн<br>(L – лунная, S – солнечная)              |  |  |  |  |
|-------------------------|---------------------|-----------------|---|--|--|--|--|
| Полусуточные компоненты |                     |                 |   |  |  |  |  |
| 2N <sub>2</sub>         | 27.968208           | 12.8717         | L, эллиптическая волна M <sub>2</sub>                     |  |  |  |  |
| N <sub>2</sub>          | 28.439730           | 12.6583         | L, большая эллипт. волна M <sub>2</sub>                   |  |  |  |  |
| <i>M</i> <sub>2</sub>   | 28.984104           | 12.4206         | L, главная волна  |  |  |  |  |
| L <sub>2</sub>          | 29.528479           | 12.1916         | L, малая эллиптическая волна M <sub>2</sub>               |  |  |  |  |
| <b>S</b> <sub>2</sub>   | 30.000000           | 12.0000         | S, главная волна  |  |  |  |  |
| <b>K</b> <sub>2</sub>   | 30.082000           | 11.9666         | L-S, деклинационная волна                                 |  |  |  |  |
| Суточные компоненты     |                     |                 |   |  |  |  |  |
| <b>Q</b> <sub>1</sub>   | 13.398661           | 26.8683         | L, эллиптическая волна O <sub>1</sub>                     |  |  |  |  |
| <b>O</b> <sub>1</sub>   | 13.943036           | 25.8193         | L, главная волна  |  |  |  |  |
| <b>M</b> <sub>1</sub>   | 14.496694           | 24.8332         | <i>L</i> , эллиптическая волна <i>К</i> <sub>1</sub>      |  |  |  |  |
| <i>P</i> <sub>1</sub>   | 14.958931           | 24.0659         | S, главная волна  |  |  |  |  |
| <b>S</b> <sub>1</sub>   | 15.000002           | 24.0000         | S, эллиптическая волна <sup>s</sup> K <sub>1</sub>        |  |  |  |  |
| <b>K</b> <sub>1</sub>   | 15.041069           | 23.9345         | L-S, деклинационная волна                                 |  |  |  |  |
| $J_1$                   | 15.585443           | 23.0985         | L, эллиптическая волна <sup><i>т</i></sup> K <sub>1</sub> |  |  |  |  |
| 001                     | 16.139102           | 22.3061         | L, деклинационная волна                                   |  |  |  |  |

## Анализ данных приливных деформаций 1.Отношение сигнал/шум для основных приливных волн



Волна О1: S/N ~ 20-30 (max 70) STD ~ 2-5%

Волна M2: S/N ~ 100-170 (max 280) STD ~ 2-5%

#### Анализ данных приливных деформаций

## 3. Коэффициенты регрессии



#### По атмосферному давлению

#### По температуре

#### Анализ данных приливных деформаций

## 2. Задержка фазы



Phase lead M2



Волна O1:  $\Delta \sim -5^{\circ} \div +5^{\circ}$  (mean value ~ -1.3°) STD ~ 1-3°

Волна M2:  $\Delta \sim 0^{\circ} \div +1^{\circ}$  (mean value ~ 0.1°) STD ~ 0.5°

## Учет влияния рельефа

 Для расчета возмущения деформации рельеф Баксанского ущелья был аппроксимирован полиномом

$$Z(x) = \sum_{k=0}^{N} C_k x^k, \quad N = 8$$



 За счет рельефа измеренные значения деформаций увеличиваются на ~ 22%

## Результаты наблюдений 1. Вариации амплитудных факторов основных приливных волн



2. Влияние ближайшего тектонического разлома на приливные деформации



ōε<sub>yy</sub>≈0

3. Влияние магматических структур вулкана Эльбрус на приливные деформации



#### Магматическая камера



#### Магматический очаг



#### $\vec{o}V_p / V_p \approx -1;$ $\vec{o}V_s \approx 0;$ $\lambda \approx \mu$

аномалия 12% на расст. 4.3 км

$$\begin{split} & \bar{\delta}V_{\rho} / V_{\rho} \approx -0.25; \\ & \bar{\delta}V_{s} / V_{s} \approx -0.25; \\ & \lambda \approx \mu \end{split}$$

аномалия 12% на расст. 18 км и 26 км

## 4. Оценка приливных параметров по 2-летнему непрерывному блоку наблюдений (XI / 2003 – XI / 2006)

| from  | to         | wave      | ampl.<br>nstr | signal/<br>noise | ampl.fac | . stdv. | phase lead<br>[deg] | stdv.<br>[deg] |
|-------|------------|-----------|---------------|------------------|----------|---------|---------------------|----------------|
| 286   | 428        | Q1        | 1.068         | 9.0              | 1.07133  | 0.11861 | -4.2100             | 6.3433         |
| 429   | 488        | 01        | 5.470         | 46.2             | 1.05024  | 0.02271 | -1.4842             | 1.2389         |
| 489   | 537        | M1        | 0.469         | 4.0              | 1.14541  | 0.28875 | 16.6051             | 14.4438        |
| 538   | 554        | P1        | 2.178         | 18.4             | 0.89876  | 0.04881 | -23.1604            | 3.1113         |
| 555   | 558        | <b>S1</b> | 2.159         | 18.3             | 37.67248 | 2.06352 | -3.5701             | 3.1384         |
| 559   | <b>592</b> | К1        | 6.145         | 52.0             | 0.83890  | 0.01615 | -8.9855             | 1.1028         |
| 593   | 634        | J1        | 0.358         | 3.0              | 0.87518  | 0.28876 | -12.1582            | 18.9043        |
| 635   | 736        | 001       | 0.214         | 1.8              | 0.95552  | 0.52769 | 0.9469              | 31.6420        |
| 737   | 839        | 2N2       | 0.320         | 7.9              | 0.99216  | 0.12635 | -2.3335             | 7.2965         |
| 840   | 890        | N2        | 2.189         | 53.7             | 1.08435  | 0.02018 | 0.1335              | 1.0662         |
| 891   | 947        | M2        | 11.595        | 284.6            | 1.09958  | 0.00386 | -0.0483             | 0.2013         |
| 948   | 987        | L2        | 0.300         | 7.4              | 1.00792  | 0.13668 | 2.2073              | 7.7694         |
| 988 1 | 800.       | <b>S2</b> | 5.281         | 129.6            | 1.07641  | 0.00830 | 0.0999              | 0.4420         |
| 1009  | 112        | 1 К2      | 1.453         | 35.7             | 1.08930  | 0.03054 | -0.2794             | 1.6065         |

5. Влияние резонансных эффектов жидкого ядра Земли на амплитуды суточных гармоник приливных деформаций

| from        | to         | wave      | ampl.<br>nstr | signal/<br>noise | ampl.fac | . stdv. | phase lead<br>[deg] | stdv.<br>[deg] |
|-------------|------------|-----------|---------------|------------------|----------|---------|---------------------|----------------|
| 286         | 428        | Q1        | 1.068         | 9.0              | 1.07133  | 0.11861 | -4.2100             | 6.3433         |
| 429         | <b>488</b> | 01        | 5.470         | 46.2             | 1.05024  | 0.02271 | -1.4842             | 1.2389         |
| 489         | 537        | M1        | 0.469         | 4.0              | 1.14541  | 0.28875 | 16.6051             | 14.4438        |
| 538         | 554        | P1        | 2.178         | 18.4             | 0.89876  | 0.04881 | -23.1604            | 3.1113         |
| 555         | 558        | <b>S1</b> | 2.159         | 18.3             | 37.67248 | 2.06352 | -3.5701             | 3.1384         |
| 55 <b>9</b> | <b>592</b> | К1        | 6.145         | 52.0             | 0.83890  | 0.01615 | -8.9855             | 1.1028         |
| 593         | 634        | J1        | 0.358         | 3.0              | 0.87518  | 0.28876 | -12.1582            | 18.9043        |
| 635         | 736        | 001       | 0.214         | 1.8              | 0.95552  | 0.52769 | 0.9469              | 31.6420        |
| 737         | 839        | 2N2       | 0.320         | 7.9              | 0.99216  | 0.12635 | -2.3335             | 7.2965         |
| 840         | 890        | N2        | 2.189         | 53.7             | 1.08435  | 0.02018 | 0.1335              | 1.0662         |
| 891         | 947        | M2        | 11.595        | 284.6            | 1.09958  | 0.00386 | -0.0483             | 0.2013         |
| 948         | 987        | L2        | 0.300         | 7.4              | 1.00792  | 0.13668 | 2.2073              | 7.7694         |
| 988 1       | 800.       | <b>S2</b> | 5.281         | 129.6            | 1.07641  | 0.00830 | 0.0999              | 0.4420         |
| 1009        | 112        | 1 к2      | 1,453         | 35.7             | 1.08930  | 0.03054 | -0.2794             | 1,6065         |

*K*1 /O1 = 0.80 ± 0.02

## Заключение

- Главная лунная полусуточная волна М2 является основным амплитудно-фазовым индикатором упругого отклика земной коры на приливное воздействие. Для месячных интервалов наблюдения волна М2 имеет отношение сигнал/шум в пределах 100-170 (максимально 280). Погрешность определения амплитудного фактора 0.5-1%. Для 2-х годичного интервала наблюдения отношение сигнал/шум равно 285, значение амплитудного фактора, в которое внесена поправка за рельеф, равно 0.819 с относительной ошибкой 0.35%.
- Выявлены статистически значимые временные вариации амплитудных факторов, в 3-5 раз превышающие 95% их доверительный интервал. Такие вариации могут быть обусловлены изменениями регионального поля напряжений, в частности, изменением сейсмической активности региона.

## Заключение

- Редуцированные амплитудные факторы приливных волн имеют заниженные значения. Численное моделирование приливных аномалий показывает, что наблюдаемая аномалия волны М2 (12%) по-видимому обусловлена влиянием глубинного магматического очага вулкана Эльбрус.
  - Резонансные эффекты жидкого ядра Земли обнаруживаются в гармонике прилива К1: [К1/О1]=0.80±0.02.