

УДК 523.31-1/-8

## МОДЕЛЬ «АТМОСФЕРА»: АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДОПОЛНЕНИЙ К ДЕФОРМАЦИЯМ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

© 2018 А. Е. Вольвач<sup>1,2\*</sup>, Г. С. Курбасова<sup>1</sup>, Л. Н. Вольвач<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Отдел радиоастрономии и геодинамики Крымской астрофизической обсерватории РАН, Ялта, 298688 Россия

<sup>2</sup>Институт прикладной астрономии РАН, С-Петербург, 191187 Россия

Поступила в редакцию 9 сентября 2017 года; принята в печать 6 октября 2018 года

Радиотелескоп РТ-22 в Качивели (РСДБ-станция «Симеиз») активно участвует в международных проектах по поддержке пространственно-временных систем отсчёта для мониторинга глобальных изменений на Земле и для точной навигации в космосе. В настоящей работе обсуждаются результаты анализа данных о вариациях дополнений к деформациям поверхности Земли в пункте Качивели, вычисленных по модели «Атмосфера» проекта DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft). Обнаружено существенное колебание с периодом один год в восточной и вертикальной составляющих вектора дополнений к деформациям поверхности Земли в пункте Качивели. Вычислены параметры синусоидальной модели этого колебания.

Ключевые слова: *Земля*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения возможности сравнения различных результатов наблюдений требуется общая система координат. В настоящее время принята Международная земная система координат (International Terrestrial Reference System — ITRS) и её практическая реализация — Международная земная референсная система [1] (International Terrestrial Reference Frame — ITRF)<sup>1</sup>. Она реализуется в виде координат и скоростей некоторого набора глобально распределённых станций наблюдений. Наиболее точную реализацию этой системы предоставляет Международная служба вращения Земли (International Earth Rotation and Reference Systems Service — IERS)<sup>2</sup>. Параметры этой системы вычисляются как комбинация многих глобальных и региональных решений, полученных с помощью различных методов космической геодезии: радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ, Very Long Baseline Interferometry — VLBI), лунных и спутниковых лазерных измерений (ЛЛЛ и ЛЛС, Lunar and Satellite Laser Ranging — LLR and SLR), Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС, Global Navigation Satellite

System — GNSS) и навигационной системы доплеровской орбитографии и спутниковой радиолокации (Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite — DORIS).

Станция РСДБ «Симеиз» на временном интервале анализируемых в настоящей работе дополнений к деформациям Земли принимала участие в работе сети станций Международной службы РСДБ (IVS).

### 2. ПРИЛИВЫ И ЗЕМНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ

На основе регулярных наблюдений четырьмя названными во Введении методами соответствующие международные службы составляют временные ряды наблюдений и выдают пользователям информацию о координатах и скоростях смещений станций сети этих служб. Принятая в настоящее время отсчётная основа ITRF2014 непосредственно поддерживается сетью станций РСДБ. Предполагаемая неопределённость отсчётной основы ITRF2014 находится на уровне менее 3 мм в эпоху 2010.0 и менее чем  $0.2 \text{ мм год}^{-1}$  по шкале временной эволюции, что фактически определяет точность смещения станций в сети РСДБ.

Положение пункта наблюдения в ITRF схематически приведено на рис. 1 (из книги [2], стр. 160).

\*E-mail: volvach@bk.ru

<sup>1</sup><https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/ITRF/itrf.html>

<sup>2</sup><https://www.iers.org/IERS/EN/Organization/About/about.html>

Если из мгновенных координат пункта, жестко связанного с корой Земли, вычесть зависящие от времени приливные поправки, то результирующие координаты будут отнесены к «средней» коре; оставшиеся приливные поправки называются «средним приливом» («mean tide»). «Средняя» кора соответствует реальным средним положениям пунктов на поверхности Земли. Так как модель учета приливов не точна, координаты станций, задающие земную систему координат ITRF2000, «условно свободны от приливов.» В резолюции 16 Генеральной Ассоциации Геодезии (1983 г.) записано, что «признавая необходимость единого подхода к учету приливных поправок к различным геодезическим величинам, таким как сила тяжести и координаты станций» рекомендуется «не удалять не прямой эффект, вызываемый постоянной деформацией Земли,» т.е. постоянная часть возмущающего потенциала должна оставаться в геопотенциале (из книги [2], стр. 150–160).

Для определения положения пункта в системе ITRF из его мгновенного радиус-вектора вычитается вектор полной приливной деформации, причем постоянное смещение  $\Delta \mathbf{r}_f$  вычисляется с использованием принятых чисел Лява. Добавление вектора  $\Delta \mathbf{r}_c$  постоянного смещения определяет координаты пункта в системе, связанной со «средней» корой. Если из полученного радиус-вектора вычесть вектор  $\Delta \mathbf{r}_s$  постоянного смещения, вычисленный для вековых чисел Лява  $h^s$  и  $l^s$ , то получим вектор пункта наблюдения в системе, «свободной от приливов.» (из книги [2], стр. 150–160)

Транспортировка масс в глобальных геофизических жидких оболочках Земли (атмосфера, океаны, другие гидрологические объекты, приливы, мантия, ядро) влияет на изменения параметров вращения Земли, вызывает изменения гравитационного поля и смещения геоцентра. В настоящее время благодаря высокоточным наблюдениям появилась возможность отслеживать и учитывать эти изменения.

Решению проблемы влияния атмосферы и океана на параметры вращения Земли посвящены публикации Вондрака и Рона [3–6].

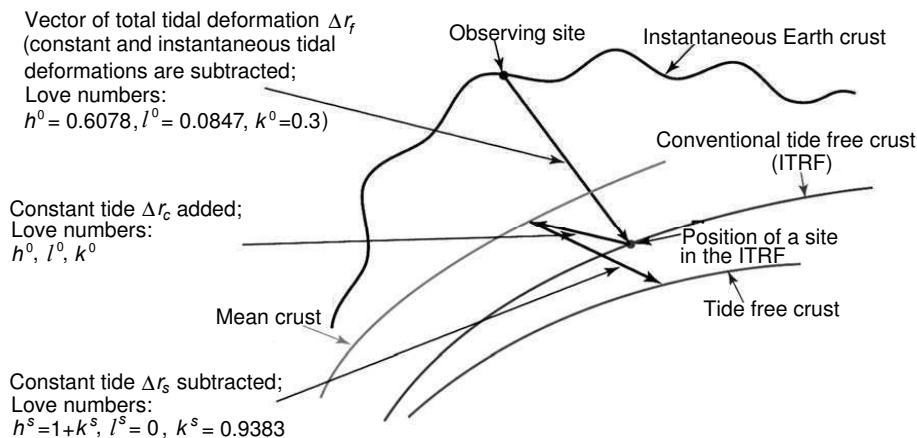
### *2.1. Влияние океана, атмосферы, гидрологии на глобальные геофизические процессы*

Океаны оказывают значительное влияние на глобальные геофизические процессы Земли. Меняющееся распределение масс океанов воздействует на гравитационное поле Земли, что приводит к изменениям в системе центра масс океанов и, как следствие, приводит к смещениям в системе центра масс твердой Земли. Неприливные отклонения океанических течений и давление океана на дно являются источниками возбуждения движения полюса, а также заметного изменения длительности

суток. Меняющееся распределение масс океанов также изменяет нагрузку на океаническую кору, влияя тем самым как на вертикальное, так и на горизонтальное положение наблюдательных станций, расположенных вблизи океана.

В атмосфере наряду с суточными колебаниями температуры воздуха существуют очень слабые суточные и сравнительно интенсивные полусуточные изменения приземного атмосферного давления. Выделение их затруднительно на фоне довольно сильных и беспорядочных погодных изменений. Амплитуда этих вариаций максимальна в тропической зоне (около 1 мбар для полусуточной компоненты) и сильно уменьшается при удалении в области умеренных и высоких широт. Хотя приливные силы Луны в два с лишним раза больше приливных сил Солнца, в атмосфере солнечные приливы преобладают над лунными приливами, в отличие от приливов в море и на суше. Объяснение этому дали новейшие исследования верхней атмосферы. Атмосферный прилив, период которого равен половине солнечных суток, вызывается в основном не гравитационным, а термическим воздействием Солнца на атмосферу. Ультрафиолетовая солнечная радиация, поглощаясь озоном в стратосфере, ведёт к разогреванию этих слоев атмосферы, что, в свою очередь, приводит к возбуждению колебаний метеорологических характеристик (давления, температуры, плотности, скорости ветра) с периодами сутки, полусутки и т.д. Основная доля энергии суточной компоненты приходится на волны, которые не распространяются из верхней атмосферы к Земле, что объясняет крайнюю незначительность суточного колебания атмосферного давления у поверхности Земли. Напротив, полусуточные колебания распространяются по направлению к Земле, поэтому их амплитуда у поверхности Земли значительно больше. Поверхностный слой любого пункта Земли испытывает деформации, связанные с влиянием атмосферы.

В гидросфере происходит постоянное перераспределение масс, связанное с изменениями уровня подземных вод, изменениями массы воды в реках и озёрах. Кроме того, существуют деформации земной поверхности, связанные с давлением на грунт, оказываемым жилыми зданиями и промышленными объектами, с особенностями современного тектонического процесса, характерного для данного региона. Центр глобальных геофизических жидких оболочек Земли (Global Geophysical Fluid Center — GGFC) Международной службы вращения Земли и опорных систем координат (IERS) предоставляет сообществу данные о деформациях поверхности Земли, связанные с региональной гидрологией. В этом центре обрабатываются наблюдения, полученные различными методами космической геодезии в межконтинентальных сетях, а за-



**Рис. 1.** Определение земной коры, «условно свободной от приливов», «свободной от приливов» и «средней» коры (из книги [2], стр. 160).

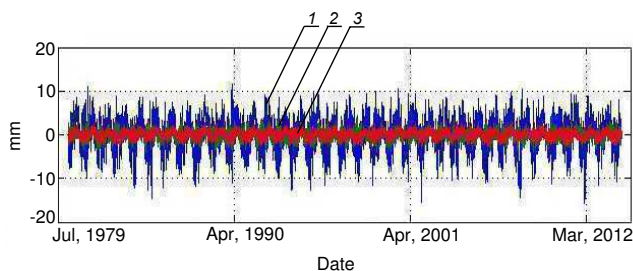
тем представляются в виде моделей геодезических эффектов (вращения Земли, силы тяжести и деформации) за счет временного перераспределения геофизических жидкостей Земли.

## 2.2. Международный проект DFG

РСДБ-станция «Симеиз» в Качивели активно участвует в международных проектах по поддержке пространственно-временных справочных систем для мониторинга глобальных изменений и для точной навигации в космосе [7, 8]. Один из таких проектов разработан в отделе исследований DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft). Целью этого проекта является предоставление квазиинерциальной системы отсчета, реализованной с помощью согласования земной системы отсчета с положениями квазаров на основе общего набора параметров и, в частности, на однородных геофизических моделях: «Океан», «Атмосфера», «Гидрология» [9, 10].

В 2015 г. в центре внимания комбинационного центра (CC — Combination Centre) в DGFI-TUM (Deutsches Geodatisches Forschungsinstitut) была реализация ITRS в виде DTRF2014. Для вычисления DTRF2014 были использованы временные ряды данных четырех космических геодезических методов: GNSS, VLBI, SLR и DORIS. Эта реализация основана на тех же входных данных, что и другие реализации, а именно ITRF2014 и JTRF2014.

Приведём результаты выполненного нами анализа данных о дополнениях к деформациям Земли  $dU_p$ ,  $dN$ ,  $dE$  в пункте Качивели (станция «Симеиз»), вычисленных по модели «Атмосфера» в отделе исследований DFG.



**Рис. 2.** Графики дополнений к деформациям (модель «Атмосфера») поверхности земли РСДБ-станции «Симеиз»: 1 вертикальные  $dU_p$  (синий цвет), 2 северные  $dN$  (зелёный цвет), 3 восточные  $dE$  (красный цвет) (см. цветной рисунок в электронной версии статьи).

## 3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Мы использовали материалы службы IERS (Geophysical Fluids Data) [1]. Исходные данные представлены в виде трёх временных рядов дополнений  $dU_p$  (вертикальные),  $dN$  (северные),  $dE$  (восточные) с интервалами между отсчётами 0.25 суток. На рис. 2 приведены графики анализируемых данных.

### 3.1. Статистические характеристики данных

В таблице 1 содержится информация о статистических характеристиках данных  $dU_p$ ,  $dN$ ,  $dE$  после удаления шума ( $dU_{p0}$ ,  $dN_0$ ,  $dE_0$ ). Характеристики белого шума ненормированного ( $dU_{pS1}$ ,  $dNS1$ ,  $dES1$ ) и нормированного ( $dU_{pS2}$ ,  $dNS2$ ,  $dES2$ ) содержатся в соответствующих строках.

Столбцы таблицы содержат последовательно: наименование данных,  $\bar{x}$  — среднее,  $M_e$  — медиана,  $M_0$  — мода,  $X_{\max}$  — максимальное отклонение,

**Таблица 1.** Статистические характеристики данных о величинах dUp, dN, dE по РСДБ-наблюдениям (станция «Симеиз», модель «Атмосфера»)

| Наименование данных | $\bar{x}$              | $M_e$                 | $M_0$    | $X_{\max}$ | $X_{\min}$ | $R$    | $\sigma$ |
|---------------------|------------------------|-----------------------|----------|------------|------------|--------|----------|
| dUp0                | -0.01091               | 0.3315                | 1.092    | 11.53      | -15.69     | 27.22  | 3.768    |
| dUpS1               | 0                      | -0.00042              | -0.02397 | 2.253      | -3.183     | 5.436  | 0.1355   |
| dUpS2               | 0                      | -0.00040              | -0.01803 | 0.9014     | -0.9014    | 1.803  | 0.07525  |
| dN0                 | $-1.4 \times 10^{-10}$ | -0.02044              | -0.1434  | 4.755      | -4.151     | 8.906  | 1.197    |
| dNS1                | 0                      | $3.82 \times 10^{-5}$ | -0.0069  | 0.3515     | -0.3512    | 0.7027 | 0.06151  |
| dNS2                | 0                      | $6.8 \times 10^{-5}$  | -0.00476 | 0.241      | -0.261     | 0.502  | 0.05652  |
| dE0                 | $-4.4 \times 10^{-10}$ | 0.3476                | 0.1357   | 2.312      | -2.911     | 5.223  | 0.7535   |
| dES1                | 0                      | 0.00033               | 0.00015  | 0.350      | -0.264     | 0.614  | 0.06315  |
| dES2                | 0                      | 0.00033               | 0.00524  | 0.2669     | -0.2268    | 0.4937 | 0.05924  |

$X_{\min}$  — минимальное отклонение,  $R$  — ранг,  $\sigma$  — стандартное отклонение.

Данные таблицы 1 демонстрируют существенное превышение полезного сигнала над уровнем белого шума. Более того, проведенное нами тестирование с помощью статистического теста *gunstest* (MATLAB, Statistics Toolbox) показало, что с вероятностью 95% порядок следования данных в трёх сериях неслучайный.

### 3.2. Изучение структуры данных и непрерывный частотно-временной вейвлет-анализ

Для трёх серий данных нами вычислены линейные тренды, исходя из глобальной модели вида:

$$T(x) = p_1 x + p_2, \quad (1)$$

где  $p_1$  и  $p_2$  — коэффициенты полинома первой степени, время  $x = x_i - x_0$ ,  $x_0$  — начальная дата серии данных. Величины коэффициентов (с 95% доверительными интервалами), вычисленных по модели (1) для каждой серии данных, приведены ниже:

dUp0 :

$$p_1 = 1.06 e^{-007} (-8.879 e^{-006}, 9.091 e^{-006}),$$

$$p_2 = -0.01158 (-0.07673, 0.05357);$$

dN0 :

$$p_1 = -2.021 e^{-008} (-2.856 e^{-006}, 2.815 e^{-006}),$$

$$p_2 = 0.0001269 (-0.02043, 0.02069);$$

dE0 :

$$p_1 = 1.218 e^{-009} (-1.816 e^{-006}, 1.819 e^{-006}),$$

$$p_2 = -7.646 e^{-006} (-0.01319, 0.01317).$$

Сопоставляя величины коэффициентов линейных трендов (1) с характеристиками шума для каждой серии данных (см. таблицу 1), приходим к выводу о незначимости линейных трендов, и дальнейший анализ посвящается выявлению периодических колебаний.

Выбор метода частотно-временного анализа данных обусловлен изменчивостью природных процессов на различных интервалах времени. В качестве подходящего в этом случае метода нами выбран непрерывный частотно-временной вейвлет-анализ. Он основан на сопоставлении масштабных коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования с частотой Фурье.

Соотношение между масштабом и частотой может быть дано только в широком смысле, поэтому лучше говорить о псевдо частоте и псевдо периоде. Причём соотношения между центральной частотой вейвлета  $\omega_a$ , псевдо частотой  $\omega_0$  и масштабным коэффициентом  $a$  имеют вид [11, 12]:

$$\omega_a = \frac{\omega_0}{a \times \Delta},$$

где  $\Delta$  — период дискретизации анализируемого сигнала. В этом случае временной переменной в обратном преобразовании Фурье является параметр сдвига  $b$  в вейвлет-преобразовании.

Необходимыми свойствами для сопоставления масштаба и частоты (периода) обладают оба, не-аналитический и аналитический, вейвлеты Морле. Используемый в нашем анализе аналитический вейвлет Морле (*mor1*) определяется в области Фурье [11]:

$$\hat{\Psi}(s\omega) = \pi^{-1/4} e^{-\frac{(s\omega - \omega_0)^2}{2}} U(s\omega),$$

**Таблица 2.** Коэффициенты моделей деформаций dUp0 с доверительными границами 95%

| Модель | $a$ , mm                        | $P = \frac{2\pi}{b}$ , сут.   | $C$ , рад.                   |
|--------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| sin1   | $a1 = 3.368(3.331, 3.404)$      | $P1 = 365.30(365.30, 65.09)$  | $c1 = -1.432(-1.453, -1.41)$ |
|        | $a2 = 3.331(3.236, 3.426)$      |                               |                              |
| sin2   | $a1 = 0.197(0.1023, 0.2917)$    | $P1 = 370.47(373.33, 367.88)$ | $c1 = 1.362(0.2736, 2.451)$  |
|        | $a2 = 3.331(3.236, 3.426)$      | $P2 = 365.09(365.30, 365.09)$ | $c2 = 4.792(4.727, 4.857)$   |
| sin3   | $a1 = 0.2443(0.07782, 0.4108)$  | $P1 = 365.6(372.45, 366.79)$  | $c1 = 0.92(-0.2813, 2.121)$  |
|        | $a2 = 3.283(3.116, 3.45)$       | $P2 = 365.09(365.30, 364.88)$ | $c2 = 4.763(4.673, 4.852)$   |
|        | $a3 = -0.2372(-0.2734, -0.201)$ | $P3 = 510.83(512.49, 509.17)$ | $c3 = 2.959(2.654, 3.263)$   |

**Таблица 3.** Коэффициенты моделей деформаций dE0 с 95% доверительными границами

| Модель | $a$ , mm                         | $P = \frac{2\pi}{b}$ , сут.   | $C$ , рад.                    |
|--------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| sin1   | $a1 = 0.506(0.498, 0.514)$       | $P1 = 364.66(364.66, 364.66)$ | $c1 = -1.657(-1.689, -1.625)$ |
| sin2   | $a1 = 0.5086(0.1023, 0.2917)$    | $P1 = 364.88(364.88, 364.66)$ | $c1 = -1.61(-1.657, -1.577)$  |
|        | $a2 = 0.03192(0.02298, 0.04086)$ | $P2 = 353.38(355.38, 351.41)$ | $c2 = 1.87(1.231, 2.51)$      |
| sin3   | $a1 = 0.5111(0.5026, 0.5195)$    | $P1 = 364.66(364.88, 364.66)$ | $c1 = -1.624(-1.66, -1.588)$  |
|        | $a2 = 0.03037(0.02198, 0.03876)$ | $P2 = 352.59(354.38, 350.62)$ | $c2 = 1.688(1.075, 2.302)$    |
|        | $a3 = 0.1748(0.1667, 0.1828)$    | $P3 = 182.7(182.8, 182.6)$    | $c3 = 0.996(0.9035, 1.088)$   |

где  $\omega$  — частота,  $U(s\omega)$  — функция Хевисайда.

Структуры на рис. 3 демонстрируют наличие регулярных периодических процессов в данных о вертикальных (dUp0) и восточных (dE0) деформациях и отсутствие подобных структур в северной компоненте dN0. Причём определяется не только пространственно-временное проявление этих колебаний, но и изменение их интенсивности. Более подробную информацию о наиболее выделяющихся периодических процессах в данных можно получить исходя из соответствующей глобальной модели.

Нами выбрана глобальная модель приближения периодических колебаний, которая соответствует периодическим функциям и задается формулой:

$$y = \sum_{i=1}^n a_i \sin(b_i x + c_i), \quad (2)$$

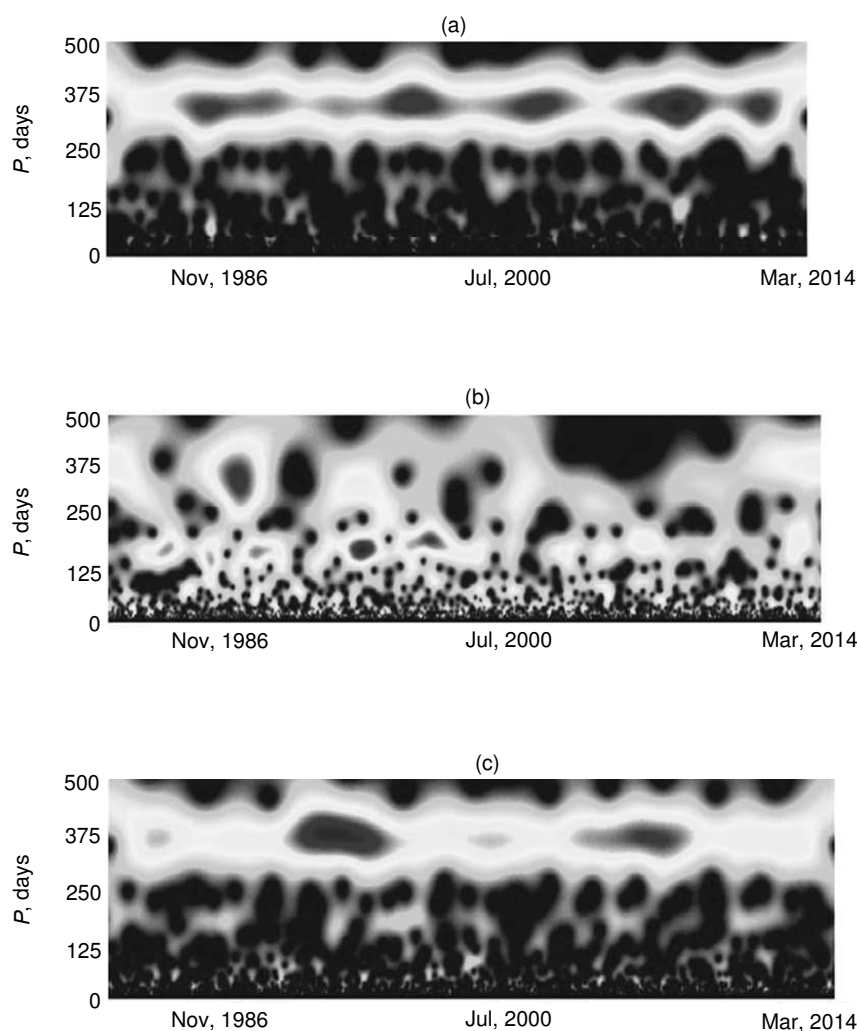
где  $a$  — амплитуда,  $b$  — частота,  $c$  — фазовая постоянная для каждого синусоидального члена,  $n$  — количество членов ряда. Это уравнение тесно связано с рядом Фурье. Основное различие состоит в том, что сумма синусоидального уравнения включает в себя фазовую постоянную и не включает постоянный член [13].

Результаты вычислений параметров трёх моделей (2) даны в таблицах 2 и 3. В таблице 2 приведены параметры синусоидальных колебаний по модели (2) в данных dUp0 (рис. 3) с доверительными границами 95%. С большой достоверностью простая модель ( $n = 1$ ) описывает колебание с периодом 365<sup>d</sup>3 и амплитудой, равной 3.368 мм.

Дальнейшее усложнение модели ( $n = 2, 3$ ) вносит не существенные в пределах точности исходных данных поправки за счёт выявления дополнительных колебаний (см. таблицу 3). В таблице 3 приведены параметры синусоидальных колебаний по модели (2) в данных dE0 (рис. 4) с 95% доверительными границами.

#### 4. ВЫВОДЫ

1. В условиях все возрастающих возможностей для наблюдений, а также учитывая социальные и научные цели, необходима поддержка пространственно-временных справочных систем для мониторинга глобальных изменений и для точной навигации вблизи Земли и в глубоком космосе. Они должны соответствовать требуемому уровню точности, гарантирующему прочную основу



**Рис. 3.** Непрерывный частотно-временной вейвлет-анализ (вейвлеты `mor1`) деформаций поверхности земли РСДБ-станции «Симеиз» (модель «Атмосфера»): (a) — вертикальные ( $dUp0$ ), (b) — северные ( $dN0$ ), (c) — восточные ( $dE0$ ).

для таких измерений. Вклад различных научных организаций, исследующих проблемы в геодезических, астрономических и космических науках, позволяет организовать комплексную междисциплинарную поддержку справочных систем. Благодаря этому скоординированному подходу удается добиться более глубокого понимания Земли как целостной системы.

2. Квазиинерциальная система отсчёта DTRS, реализованная в отделе исследований DFG, включает поправки к деформациям Земли, определенные с помощью однородных геофизических моделей: «Океан», «Атмосфера», «Гидрология». Анализ трёх временных рядов поправок к деформациям Земли станции РСДБ «Симеиз», вычисленных по модели «Атмосфера» за период 1980–2014 гг., обнаружил существенное колебание с периодом в один год вертикальной и восточной составляющих

(см. рис. 3а, 3с). Параметры этого колебания для каждой составляющей поправок устойчивы к изменению порядка  $n$  синусоидальной модели (см. таблицы 2 и 3). Кроме годовой волны, модель (2) при  $n = 2$  и  $n = 3$  содержит колебания с периодами около 370, 353 и 182 суток.

3. В северной составляющей отсутствуют непрерывные периодические колебания в рассматриваемом интервале частот.

4. Поверхностный слой любого пункта Земли испытывает деформации, связанные с влиянием атмосферы. Можно предположить, что анализируемые дополнения к деформациям земли станции РСДБ «Симеиз» под влиянием атмосферы не вызваны известными приливными процессами. В таком случае чётко выраженная синхронность колебаний в анализируемых рядах данных с циклами,

наблюдаемыми в динамике движения Луны и Земли вокруг Солнца, допускает возможность связи механизма генерации этих дополнений с динамикой движения Луны и Земли вокруг Солнца. Механизм возникновения дополнительных деформаций требует объяснений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.iers.org/IERS/EN/Organization/About/about.html>.
2. В. Е. Жаров, *Сферическая астрономия* (ООО «Век 2», Фрязино, 2006).
3. C. Ron and J. Vondrak, *Acta Geodyn. Geomater.* **3**, 243 (2011).
4. C. Ron, J. Vondrak, and V. Stefka, in *Proc. Journees 2010 on Systemes de reference spatiotemporels: New challenges for reference systems and numerical standards in astronomy* (Observatoire de Paris, 2011), p. 221.
5. J. Vondrak and C. Ron, *Acta Geodyn. Geomater.* **7**, 19 (2010).
6. J. Vondrak and C. Ron, *Acta Geodyn. Geomater.* **11**, 21 (2014).
7. A.E. Volvach, G.S. Kurbasova, and L.N. Volvach, in *Intern. VLBI Service for Geodesy and Astrometry* (NASA/TP-2015-217522, 2015), 160.
8. A. E. Volvach, G. S. Kurbasova, and A. I. Dmitrosta, in *Proc. 25th Intern. Crimean Conf. on Microwave and Telecommunication Technology* (Weber Publishing, 2015), 1105.
9. M. Seitz, M. Blossfeld, D. Angermann, et al., in *Deutsches Geodatisches Forschungsinstitut* (Munich, 2016), DOI:10.1594/PANGAEA.864046.
10. M. Seitz, H. Kutterer, and H. Alkhatib, in *Proc. 1st Intern. Workshop on the Quality of Geodetic Observation and Monitoring Systems* (Springer, 2015), 140.
11. M. Misiti, Y. Misiti, G. Oppenheim, et al. *Wavelet Toolbox. MATLAB. User's Guide* (The MathWorks, Inc. 3 Apple Hill Drive, Natick, 2002).
12. C. Torrence and G. P. Compo, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **79**, 61 (1998).
13. P. Duhamel and M. Vetterli, *Signal Processing* **19**, 259 (1990).

## The «Atmosphere» Model: Analysis of the Time Series of Updates to the Deformations of the Earth Surface

A. E. Volvach, G. S. Kurbasova, and L. N. Volvach

RT-22 radio telescope in Katsiveli («Simeiz» VLBI station) is used extensively in international projects aimed at supporting spacetime reference systems for monitoring global changes on the Earth and for precise navigation in space. This paper discusses the results of the analysis of the data about the variations of the updates to the deformations of the Earth surface at Katsiveli site computed in terms of the «Atmosphere» model of a DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) project. Significant oscillation with a one-year period is found in the Eastern and vertical components of the update vector to the deformations of the Earth surface at Katsiveli site and the parameters of the sine model of this oscillation are computed.

Keywords: *Earth*