

УДК 551.509.32

# ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ СИЛ ГРАВИТАЦИИ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВОЗДУХА В ОТДЕЛЬНО ВЗЯТЫХ ТОЧКАХ ЗЕМЛИ

**Назаров А.И.**

к.т.н., доцент ТУИТ,  
тел.: +(99871) 238-65-10, e-mail: alisher.nazarov.1958@mail.ru

**Кабильджанов А.С.,**

к.т.н., доц., заведующий лабораторией Центра разработки программных продуктов и аппаратно-программных комплексов при ТУИТ,  
тел.: +(99871) 237-61-45, e-mail: kabildjanov@yandex.ru

**Салиджанов А.А.**

магистрант ТУИТ,  
тел.: +(99871) 238-65-10

Рассмотрены вопросы построения математических моделей для прогнозирования температуры воздуха в отдельно взятой точке Земли в зависимости от действующих на данный период времени гравитационных сил планет Солнечной системы. Приводятся расчетные формулы для определения значений приливообразующего потенциала в проекциях на параллель, меридиан и вертикаль. Приводится сравнительный анализ динамики изменения модельных и реальных данных температуры воздуха на город Самарканд на первую неделю марта 2017 г.

**Ключевые слова:** прогностическая модель, силы гравитации, корреляционная связь, температура воздуха, приливные силы, приливообразующий потенциал, проекция волн, статистическая модель.

## THE FORECAS MODELS OF INFLUENCE FORCES OF GRAVITATION OF PLANETS OF SOLAR SYSTEM ON TEMPERATURE OF AIR IN SEPARATELY TAKEN POINTS OF GROUND

Nazarov A.I., Kabildjanov A.S., Salijanov A.A.

The questions of construction of mathematical models for forecasting temperature of air in a separately taken point of the Earth are considered depending on working on the given period of time of gravitational forces of planets of Solar system. The settlement formulas for definition of meanings of inflow potential in projections to a parallel, meridian and vertical are resulted. The comparative analysis of dynamics of change of modeling and real given temperature of air on city Samarkand for the first week of March, 2017 is resulted.

**Keywords:** the forecas model, force of gravitation, correlation connection, temperature of the air, having flown forces, inflow potential, projection of waves, statistical model.

## YER YUZIDAGI HAR QANDAY BERILGAN NUQTADA HAVO TEMPERATURASIGA SAYYORALAR QUYOSH TIZIMI GRAVITY KUHLAR TA'SIRI PROGNOZLASHTIRISH MODELI

Nazarov A.I., Kabildjanov A.S., Salijanov A.A.

Yerning berilgan nuqtasida havo-daniyat tezligini bashorat quyosh tizimi sayyoralarning gravitatsion kuchlar vaqtda kuchga qarab matematik modellar qurish muammolari. Parallel, vertikal va meridian proektsiyalarda yil fasllari salohiyat qiymatlarini hisoblash uchun formulalar berilgan. Modeli va mart 2017 birinchi hafta kuni Samarqand shahriga haqiqiy ma'lumotlar temperatury havo dinamikasi qiyosiy tahlil qilingan.

**Tayanch iboralar:** bashoratli model, gravitatsiya kuchi, korrelyatsiya, havo temperaturasi, Go'yim kuchlari, salohiyatini to'lqin-ishlab, to'lqin loyiha, statistik model.

## 1. Введение

Прогнозирование атмосферных процессов является одной из сложных задач метеорологии, поскольку на динамику воздушных масс оказывают влияние факторы самой различной природы [1- 6].

Во-первых, погода зависит от поступления солнечного излучения, циркуляции воздушных масс в атмосфере, от географической широты и высоты места над уровнем моря, от удаленности региона от морских побережий, наличия ледников и снеговых покровов, степени загрязненности атмосферы.

Во-вторых, суточные и годовые вариации погоды, а также широтные (зональные) закономерности погоды на Земле определяются вращением Земли вокруг своей оси, наклоненной к плоскости экватора на  $23,26^\circ$ , и обращением Земли вокруг Солнца.

Одним из наиболее существенных факторов, оказывающих динамическое воздействие на перемещение воздушных масс на поверхности Земли и, следовательно, на температуру Земли, является влияние сил гравитации планет солнечной системы, в особенности Солнца и Луны.

Предлагаемая методика прогнозирования природных процессов основана на учете гравитационных сил, возникающих вследствие перераспределения масс в солнечной системе относительно Земли [7].

## 2. Постановка задачи

В соответствии с теоретическими положениями, выдвинутыми в работе [7], для решения задачи прогнозирования температуры воздуха в определенной географической точке Земли в заданное астрономическое время необходимо:

- 1) осуществить расчет значений составляющих гравитационных сил планет солнечной системы;
- 2) произвести оценку корреляции между составляющими сил гравитации планет солнечной системы и температурой воздуха в определенной географической точке Земли для заданного времени;
- 3) осуществить выбор наиболее существенно влияющих на температуру воздуха составляющих сил гравитации планет солнечной системы;
- 4) построить прогностическую модель, устанавливающую связь между температурой воздуха и составляющими силами гравитации планет солнечной системы;
- 5) на основе полученной прогностической модели произвести прогноз температуры воздуха в определенной географической точке Земли в заданное астрономическое время.

## 3. Методика решения задачи

Сущность методик заключается в том, чтобы на основе данных метеорологических наблюдений сформировать группы данных, соответствующих условиям проведения активного эксперимента.

Происходят приливы, периодические колебания уровня моря, обусловленные силами притяжения Луны и Солнца. Под действием этих же сил происходят деформации твёрдого тела Земли (земные приливы) и колебания атмосферного давления (атмосферные приливы).

Под воздействием Луны (Солнца) возникают приливообразующие силы, которые представляют собой разность между силами притяжения Луной частицы (элемента массы воды, земли или воздуха), расположенной в любой точке Земли, и притяжением частицы той же массы Землей. Эти силы пропорциональны массе Луны ( $m$ ), расстоянию от центра Земли ( $r$ ) и обратно пропорциональны кубу расстояния от Земли до Луны ( $R$ ), кроме того, они зависят от зенитного расстояния Луны ( $z$ ) [8].

Вертикальная составляющая приливной силы (на единицу массы)  $F_w$  изменяет силу тяжести на величину

$$F_w = 3G \frac{mr}{r^3} \left( \cos^2 z - \frac{1}{3} \right),$$

где  $G$  - гравитационная постоянная. Сила тяжести уменьшается на поверхности Земли, когда Луна находится в зените или надире, на  $0,1$  мгал, или на  $1 \times 10^{-7}$  своей величины, и увеличивается на половину этой величины в тех местах Земли, где Луна в рассматриваемый момент восходит или заходит.

Горизонтальная составляющая приливных сил равна 0, когда Луна находится в зените, надире или на горизонте, и максимальна, когда зенитное расстояние Луны равно  $45^\circ$  и достигает  $0,08$  мгал:

$$F_p = \frac{3}{2} G \frac{mr}{r^3} \sin 2z.$$

Вследствие суточного вращения Земли и движения Земли, Луны и Солнца по своим орбитам приливообразующая сила в каждой точке на поверхности Земли непрерывно меняется во времени, никогда точно не повторяясь. Однако приливные силы можно представить как сумму большого числа строго периодических составляющих, определяемых из теории движения Луны вокруг Земли и Земли вокруг Солнца.

Расчёт приливообразующего потенциала можно произвести при помощи уравнения [8]:

$$W_2 = D(c/r)^3 \left[ \cos^2 \varphi \sin^2 \delta \cos 2H + \sin 2\varphi \sin 2\delta \cos H + 3(\sin^2 \varphi - 1/3) (\sin^2 \delta - 1/3) \right].$$

Отсюда рассчитываются составляющие приливообразующего потенциала в проекциях на параллель, меридиан и вертикаль: долгопериодная (зональная) волна:

$$F_w^d = D \left( \frac{c}{r} \right)^3 \left[ 3 \left( \sin^2 \varphi - \frac{1}{3} \right) \left( \sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \right],$$

меридиан

$$F_m^d = D \left( \frac{c}{r} \right)^3 \left[ -3 \sin 2\varphi \left( \sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \right],$$

параллель

$$F_p^d = 0.$$

Суточная (тессеральная) волна:

вертикаль

$$F_w^s = D \left( \frac{c}{r} \right)^3 [\sin 2\varphi \sin 2\delta \cos H],$$

меридиан

$$F_m^s = D \left( \frac{c}{r} \right)^3 [-2 \cos 2\varphi \sin 2\delta \cos H],$$

параллель

$$F_s^p = D \left( \frac{c}{r} \right)^3 [2 \sin \varphi \sin 2\delta \sin H].$$

Полусуточная (векториальная) волна:

вертикаль

$$F_w^p = D \left( \frac{c}{r} \right)^3 [\cos^2 \varphi \cos^2 \delta \cos 2H],$$

меридиан

$$F_m^p = D \left( \frac{c}{r} \right)^3 [\sin 2\varphi \cos^2 \delta \cos 2H],$$

параллель

$$F_B^A = D \left( \frac{c}{r} \right)^3 [2 \cos \varphi \cos^2 \delta \sin 2H],$$

где  $A$  – верхний индекс типа волны:  $d$  – долгопериодная волна;  $s$  – суточная волна;  $p$  – полусуточная волна.  $B$  – нижний индекс проекции волны:  $w$  – на вертикаль;  $m$  – на меридиан;  $p$  – на параллель;

$D = 26277 \text{ см}^2 / \text{с}^2$  – постоянная Дудсона для Луны;

$D' = 0,46051D$  – постоянная Дудсона для Солнца;

радиус – вектор Земля-Солнце

$$\begin{aligned} \frac{c}{r} &= 1 + 0,0167301 \cos(h - p_s) + \\ &+ 0,000281 \sin 2(h - p_s) + \\ &+ 0,000005 \sin 3(h - p_s), \end{aligned}$$

радиус – вектор Земля-Луна

$$\begin{aligned} \frac{c}{r} &= 1 + 0,055 \cos(s - p) + 0,010 \cos(s - 2h + p) + \\ &+ 0,008 \cos(2s - 2h) + 0,003 \cos(2s - 2p), \end{aligned}$$

$\varphi$  – географическая широта места наблюдения на Земле;

склонение Солнца  $\sin \delta = 0,406 \sin \alpha + 0,003 \sin 3\alpha$ ;

где восхождение для Солнца  $\alpha = h - 0,0435 \sin 2h$ ,

склонение Луны

$$\begin{aligned} \sin \delta &= 0,406 \sin \alpha + 0,008 \sin 3\alpha + \\ &+ 0,090 \sin(\alpha - N) + 0,006 \sin(3\alpha - N), \end{aligned}$$

где восхождение для Луны

$$\alpha = s - 0,043 \sin 2s + 0,019 \sin N - 0,019 \sin(2s - N),$$

$$H = a\tau + bs + ch + dp + eN' + fp_s;$$

здесь

$s$  – средняя долгота Луны:

$$\begin{aligned} s &= 270,43659^0 + 481267,89057^0 * T + \\ &+ 0,00198^0 * T^2 + 0,000002^0 * T^3, \end{aligned}$$

$h$  – средняя долгота Солнца:

$$\begin{aligned} h &= 279,69668^0 + 36000,76892^0 * T + \\ &+ 0,00030^0 * T^2, \end{aligned}$$

$p$  – долгота перигея Луны:

$$\begin{aligned} p &= 334,32956^0 + 4069,03403^0 * T - \\ &- 0,01032^0 * T^2 - 0,00001 * T^3, \end{aligned}$$

$N = -N'$  – долгота восходящего узла Луны:

$$\begin{aligned} N &= 259,18328^0 - 1934,14201^0 * T + \\ &+ 0,00208^0 * T^2 + 0,000002 * T^3, \end{aligned}$$

$p_s$  – долгота перигея Солнца:

$$\begin{aligned} p_s &= 281,22083^0 + 1,71902^0 * T + \\ &+ 0,00045^0 * T^2 + 0,000003 * T^3, \end{aligned}$$

$\tau$  – указывает на тип волны;

$$\tau = 360^0 * T - (s - h) + 180^0,$$

$T$  – время, выраженное в юлианских столетиях.

Расчет постоянной Дудсона производится по формуле

$$D = \frac{3}{4} m \frac{g_1 a_1^2}{c^3} (a_1 + r_0)^2,$$

где  $g_1 = 982,04 \text{ см}/\text{с}^2$  – ускорение свободного

падения;  $a_1 = 6378160 \text{ м}$  – средний радиус Земли;

$r_0$  – высота над уровнем моря места наблюдения;

$c = 60,27 a_1$ ;  $m = \frac{m_{ob}}{m_z}$  – отношение массы объекта к

массе Земли.

Далее аналогично рассчитывается количество дней, прошедших с начала периода до 1 юлианского января 1899 г.:

$$T_{j0} = (4713 + 1899) * 365,25 = 6612 * 365,25 = 2\,415\,033.$$

Тогда

$$T = \frac{T_j - T_{j0}}{36525} = \frac{2438774,25 - 2415033}{36525} = 0,65.$$

Параметр  $H$  определяет вид функции. Все эти функции были представлены тригонометрическими рядами, а потенциал и его производные – суммой чисто синусоидальных волн, т.е. имеющих аргументами только линейные функции времени.

#### 4. Алгоритм решения задачи

Пусть имеется база данных температуры воздуха в виде

$$X = \{x_{i,j}\}, \quad i = 1, n; \quad j = 1, 5,$$

где  $n$  – количество замеров,  $j = 1$  – значение температуры воздуха,  $j = 2$ -й год,  $j = 3$ -й месяц,  $j = 4$ -й день и  $j = 5$  – время (час) замера.

Для решения задач исследования были использованы статистические данные с 2002 по 2015 гг. по городу Самарканду из следующих источников:

- Всемирная метеорологическая организация, <http://www.wmo.ch/>

- Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова (ГГО),

<http://www.ecmwf.int/services/seasonal>

Тогда предлагаемый метод расчета можно описать в виде следующего алгоритма.

**1-й этап.** Формируется база данных, соответствующая одной географической точке (город).

**2-й этап.** Из сформированной базы данных отбираются значения температуры воздуха, соответствующие одному и тому же месяцу, дню (неделе) и часу замера, но зафиксированные в разные годы.

**3-й этап.** Для данных, сформированных на 2-м этапе, по значениям *дата* и *время* рассчитываются значения гравитационных волн, воздействующих на конкретную точку Земли (город):

$$Y = \{x_{s,1}, F_{s,k}\}; s = 1, p;$$

$$k = 2, 49501 (p < n).$$

**4-й этап.** Отбираются гравитационные волны  $F(s, k)$ , имеющие достоверную корреляционную связь ( $p < 0,05$ ) с температурой воздуха  $x(s, l)$ . Остальные исключаются из рассмотрения.

**5-й этап.** На основе отобранных волн формируется «чистый сигнал». В нашем исследовании введено суммирование по проекциям приливного потенциала независимо от длины волны и небесного тела. Чтобы не допустить взаимной компенсации положительно и отрицательно коррелированных волн, суммирование производилось раздельно с учетом характера корреляционной связи. В результате были получены шесть обобщенных характеристик, имеющих достоверную корреляционную связь с температурой воздуха:

$$Z = \{x_{s,1}, Sum_{s,v}\};$$

$$s \equiv 1, p; v = 2, 7 (p < n),$$

где  $x_{s,1}$  – значения температуры воздуха;

$Sum_{s,2}$  – сумма проекций волн на меридиан, имеющих положительную корреляционную связь с температурой S1 (mer, r +);

$Sum_{s,3}$  – сумма проекций волн на меридиан, имеющих отрицательную корреляционную связь с температурой S2 (mer, r -);

$Sum_{s,4}$  – сумма проекций волн на параллель, имеющих положительную корреляционную связь с температурой S3 (par, r +);

$Sum_{s,5}$  – сумма проекций волн на параллель, имеющих отрицательную корреляционную связь с температурой S4 (par, r -);

$Sum_{s,6}$  – сумма проекций волн на вертикаль, имеющих положительную корреляционную связь с температурой S5 (ver, r +);

$Sum_{s,7}$  – сумма проекций волн на вертикаль, имеющих отрицательную корреляционную связь с температурой S6 (ver, r -).

**6-й этап.** По методу наименьших квадратов построены статистические модели в виде уравнений множественной регрессии, устанавливающих связь температуры воздуха с каждой из сумм. При построении на коэффициенты модели накладывалось условие их эффективности не ниже уровня  $p < 0,05$  по критерию Стьюдента. За окончательный результат принималась среднеарифметическая простых регрессий.

## 5. Программная реализация и обсуждение результатов

Программная реализация разработанного алгоритма осуществлялась с использованием программного пакета для статистического анализа STATISTICA Version 10. По изложенному выше алгоритму построены 384 математические модели долгосрочного прогноза температуры воздуха на Самарканд, которые составили основу программного средства «Прогнозирование температуры воздуха на город Самарканд на основе изменения гравитационных сил» [9].

Об адекватности полученных моделей можно судить по результатам сопоставления модельных значений температуры воздуха с исходными данными на примере марта 2017 г. (рис. 1).

Максимальное отклонение модельных значений от реальных для температуры воздуха не превысило 2,5° С.

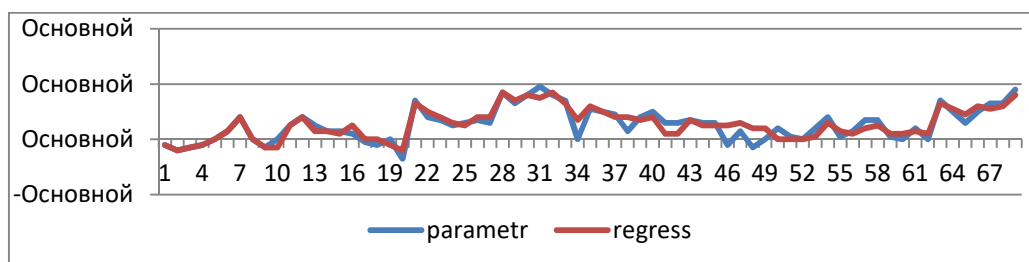


Рис. 1. Динамика изменения модельных и реальных данных температуры воздуха на г. Самарканд на первую неделю марта 2017 г.

## 6. Заключение

Идентичность динамики изменения модельных и реальных данных температуры воздуха на г. Самарканд позволяет заключить, что гравитационные силы являются одной из основных причин изменения температуры воздуха.

Основными достоинствами предлагаемого подхода прогнозирования являются следующие положения:

- возможность почасового прогноза;
- отсутствие процедур экстраполяции, т.е. точность прогноза не зависит от срока прогнозирования.

---

## Литература

- [1] *Максимов В.П.* Солнечные факторы, определяющие состояние космической погоды и задачи их прогнозирования // ИСЗФ СО РАН: Материалы международной научно-практической конференции. – Иркутск, 2002. – 34 с.
- [2] *Логинов В.Ф.* Глобальные и региональные изменения климата. Причины и следствия. – М.: ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
- [3] *Хромов С.П., Петросяц М.А.* Метеорология и климатология. – М.: Наука, 2006. – 592 с.
- [4] Погода и климат / пер. с англ. В. Быстрова. – М.: Terra-Книжный клуб, 1998. – 152 с.
- [5] *Кароль И.Л., Киселев А.А.* Парадоксы климата. Ледниковый период или обжигающий зной. – М.: Аст-Пресс-Книга, 2013. – 304 с.
- [6] *Дроздов О.А., Арапов П.П., Лугина К.М., Мосолова Г.И.* Об особенностях климата при потеплениях последних столетий // Всеросс. науч. конф.: тез. докл. – Казань, 2000. – С. 24-26.
- [7] *Кадилов Р.Х., Турсунбаев Ф.К., Якубов М.С.* Модель прогноза динамики атмосферного давления воздуха на основе гравитационных сил // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2010. – № 1-2. – С. 18-25.
- [8] *Cartwright D.E., Tayler R.I.* New Computations of the Tide-generating Potential // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. – 1971. – № 23. – Pp. 45-47.
- [9] Свид. DGU 03516. Прогнозирование температуры воздуха на город Самарканд на основе изменения гравитационных сил / *А.С. Кабильджанов, А.И. Назаров, Р.Х. Кадыров, Н. Курбанов (Узбекистан).* – Опувл. 05.02.2016.