

## Приведение наблюдаемых координат ИСЗ на стандартную эпоху

### Постановка задачи

Со станции слежения за ИСЗ, геодезические координаты которой известны, в момент времени UTC с помощью лазерного дальномера измерены расстояния  $\rho'_i$  до ИСЗ, а из обработки наблюдений ИСЗ на фоне звезд получены топоцентрические направления  $\alpha'_i, \delta'_i$  на спутник (см. задание № 2). По этим данным необходимо определить геоцентрические координаты ИСЗ ( $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ ) в средней экваториальной равноденственной системе координат стандартной эпохи J2000.0.

### Исходные данные

Условные геодезические координаты станций слежения в референцной Системе координат 1942 г. (СК-42):

I. Звенигород	II. Новосибирск	III. Симферополь
$B = 55^\circ 42' 43'', 510$	$B = 55^\circ 00' 48'', 110$	$B = 44^\circ 57' 18'', 490$
$L = 2^\circ 27' 03'', 867$	$L = 5^\circ 32' 21'', 333$	$L = 2^\circ 16' 15'', 867$
$H = 237, 529$ м	$H = 208, 378$ м	$H = 253, 755$ м

Элементы ориентирования СК-42 в ЕСК-90:

$$\begin{aligned} \Delta X &= +27,0 \text{ м} & \omega_x &= +0'', 10 & \Delta m &= +0,25 \cdot 10^{-6}. \\ \Delta Y &= -143,0 \text{ м} & \omega_y &= -0'', 34 \\ \Delta Z &= -83,0 \text{ м} & \omega_z &= -0'', 65 \end{aligned}$$

Параметры эллипсоида Красовского:

большая полуось  $a = 6378245,0$  м,  
сжатие  $f = 1/298,3$ .

**Результаты наблюдений ИСЗ «Ресурс-О1» № 2  
на станциях слежения:**

**I. Звенигород.**

Набл. №	Дата (д. м. г.)	UTC (h m s)	$\rho'_i$ (м)	$\alpha'_i$ (h m s)	$\delta'_i$ (° ' ")
1	01.08.1991	19 38 04,566	744309,37	18 46 19,01	21 01 46,50
2	04.08.1991	18 44 56,898	869067,53	00 06 02,46	56 58 31,11
3	07.08.1991	19 25 51,057	681421,84	16 38 52,94	44 19 57,06
4	08.08.1991	19 39 19,305	856346,22	16 15 24,57	23 37 01,68
5	11.08.1991	18 46 11,637	796175,96	07 16 05,35	84 03 32,30
6	12.08.1991	18 59 39,885	723210,20	14 24 36,49	69 05 21,41
7	16.08.1991	18 18 12,534	673747,65	21 10 05,69	57 00 27,69
8	18.08.1991	18 45 09,030	757719,62	17 28 28,04	23 26 10,59
9	24.08.1991	18 34 14,037	1038434,83	12 08 40,51	51 35 40,69
10	25.08.1991	18 45 54,354	1046342,14	16 06 22,81	13 33 17,98

**II. Новосибирск.**

Набл. №	Дата (д. м. г.)	UTC (h m s)	$\rho'_i$ (м)	$\alpha'_i$ (h m s)	$\delta'_i$ (° ' ")
1	05.08.1991	15 44 38,013	792252,49	23 16 02,85	57 59 31,54
2	09.08.1991	16 40 18,936	985018,76	14 05 48,54	38 14 27,59
3	14.08.1991	16 12 19,833	857248,64	16 06 32,49	24 48 08,33
4	15.08.1991	16 25 48,081	1116423,36	16 00 34,81	11 18 52,95
5	17.08.1991	15 19 12,165	820345,76	07 26 23,72	82 23 42,00
6	19.08.1991	15 46 08,661	798117,96	14 51 37,83	45 42 16,75
7	25.08.1991	15 33 25,737	958123,64	13 51 08,87	42 24 45,91
8	26.08.1991	15 46 53,985	1129907,24	14 29 32,86	27 22 01,93
9	30.08.1991	15 05 26,634	806436,73	16 05 57,64	29 42 32,57
10	31.08.1991	15 20 42,813	1142701,72	13 15 14,20	38 59 01,84

### III. Симферополь.

Набл. №	Дата (д. м. г.)	UTC (h m s)	$\rho'$ (м)	$\alpha'$ (h m s)	$\delta'$ (° ' ")
1	07.08.1991	19 22 15,195	779467,67	20 32 45,89	13 33 42,47
2	08.08.1991	19 37 31,374	680536,12	16 48 07,64	60 28 42,77
3	09.08.1991	19 50 59,622	796954,96	15 53 52,64	32 51 28,80
4	13.08.1991	19 09 32,271	659008,45	19 22 53,26	25 29 56,30
5	15.08.1991	19 38 16,698	975684,04	14 52 05,09	32 47 51,01
6	17.08.1991	18 29 52,851	844736,07	23 16 47,83	55 58 15,80
7	26.08.1991	18 57 34,671	991558,54	15 39 33,61	18 35 37,80
8	29.08.1991	18 02 39,072	653966,84	19 51 43,15	30 33 58,76
9	30.08.1991	18 17 55,251	822242,34	14 22 08,40	62 33 39,66
10	31.08.1991	18 31 23,499	932912,06	14 45 48,65	38 02 50,74

### Выписка из бюллетеня «Всемирное время и координаты полюса»

Дата: (0 <sup>h</sup> UT) 1991	UT1-UTC (s)	$x_p$ (")	$y_p$ (")	Дата: (0 <sup>h</sup> UT) 1991	UT1-UTC (s)	$x_p$ (")	$y_p$ (")
Авг. 01	+0,1854	+0,091	+0,546	Авг. 16	+0,1634	+0,142	+0,528
02	+0,1839	+0,095	+0,545	17	+0,1622	+0,145	+0,526
03	+0,1824	+0,099	+0,544	18	+0,1611	+0,148	+0,525
04	+0,1811	+0,102	+0,543	19	+0,1602	+0,151	+0,523
05	+0,1799	+0,106	+0,543	20	+0,1592	+0,154	+0,521
06	+0,1788	+0,110	+0,542	21	+0,1582	+0,157	+0,520
07	+0,1776	+0,113	+0,541	22	+0,1570	+0,159	+0,518
08	+0,1766	+0,117	+0,539	23	+0,1557	+0,162	+0,516
09	+0,1752	+0,120	+0,538	24	+0,1542	+0,165	+0,514
10	+0,1736	+0,124	+0,537	25	+0,1524	+0,168	+0,512
11	+0,1718	+0,127	+0,536	26	+0,1505	+0,170	+0,510
12	+0,1699	+0,130	+0,534	27	+0,1485	+0,173	+0,508
13	+0,1680	+0,133	+0,533	28	+0,1464	+0,176	+0,506
14	+0,1663	+0,136	+0,531	29	+0,1444	+0,178	+0,504
15	+0,1647	+0,139	+0,530	30	+0,1425	+0,181	+0,502
				31	+0,1407	+0,184	+0,500

## Алгоритм вычислений

1. Переход от шкалы всемирного координированного времени UTC к шкале всемирного времени UT1

$$UT1 = UTC + \Delta UTC,$$

где  $\Delta UTC = (UT1 - UTC)$  --- поправка за разность шкал всемирного времени UTC и UT1, выбираемая из Бюллетеня всемирного времени или принимаемая по радио.

2. Вычисление юлианской даты эпохи наблюдений  $JD(t)$

$$JD(t) = 1721013,5 + 367 \cdot Y - \text{int} \left[ 7 \cdot \frac{Y + \text{int} \left( \frac{M+9}{12} \right)}{4} \right] + \text{int} \left( \frac{275 \cdot M}{9} \right) + D + UT1^d,$$

где  $Y$  — номер года (например, 1991),

$M$  — номер месяца в году,

$D$  — номер дня в месяце,

$UT1^d$  — всемирное время по шкале UT1, выраженное в долях суток,

$\text{int}()$  — функция выделения целой части аргумента.

3. Вычисление матрицы прецессии  $P$

$$P = R_3(-z_A) \cdot R_2(\theta_A) \cdot R_3(-\zeta_A).$$

$R_1, R_2, R_3$  — матрицы вращения вокруг соответствующих координатных осей  $x, y, z$  в положительном направлении (т. е. в правой системе — против часовой стрелки). Изменение знака аргумента автоматически приводит к смене направления вращения. Для некоторого произвольного угла  $\omega$  матрицы  $R_1, R_2, R_3$  имеют вид:

$$R_1(\omega) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix}, \quad R_2(\omega) = \begin{pmatrix} \cos \omega & 0 & -\sin \omega \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \omega & 0 & \cos \omega \end{pmatrix},$$

$$R_3(\omega) = \begin{pmatrix} \cos \omega & \sin \omega & 0 \\ -\sin \omega & \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Прецессионные параметры Ньюкома-Андуайе ( $\zeta_A$ ,  $\theta_A$ ,  $z_A$ ), определяющие положение среднего равноденствия и экватора эпохи наблюдений, вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}\zeta_A &= 2306''.2181 \cdot T + 0''.30188 \cdot T^2 + 0''.017998 \cdot T^3, \\ \theta_A &= 2004''.3109 \cdot T - 0''.42665 \cdot T^2 - 0''.041883 \cdot T^3, \\ z_A &= 2306''.2181 \cdot T + 1''.09468 \cdot T^2 + 0''.018203 \cdot T^3,\end{aligned}$$

где  $T$  — время, отсчитываемое в юлианских столетиях по 36525 суток в системе всемирного времени UT1 от стандартной эпохи J2000.0, совпадающей с юлианской датой JD2451545,0, до эпохи наблюдений JD(t)

$$T = \frac{JD(t) - 2451545,0}{36525}.$$

#### 4. Вычисление матрицы нутации N

$$N = R_1(-\varepsilon_0 - \Delta\varepsilon - d\varepsilon) \cdot R_3(-\Delta\psi - d\psi) \cdot R_1(\varepsilon_0),$$

где  $\Delta\psi$  — долгопериодическая часть нутации по долготе;

$d\psi$  — короткопериодическая часть нутации по долготе;

$\Delta\varepsilon$  — долгопериодическая часть нутации наклона;

$d\varepsilon$  — короткопериодическая часть нутации наклона;

$\varepsilon_0$  — средний наклон эклиптики к экватору.

В соответствии с рекомендациями МАС значения нутации по долготе ( $\Delta\psi$ ,  $d\psi$ ) и нутации наклона ( $\Delta\varepsilon$ ,  $d\varepsilon$ ) вычисляются по Теории нутации 1980, разложения которой по фундаментальным аргументам  $l$ ,  $l'$ ,  $F$ ,  $D$ ,  $\Omega$  содержат по 106 членов для каждой составляющей. В учебных целях учтем только несколько наиболее значительных из них:

$$\begin{aligned}\Delta\psi &= -(17'',1996 + 0'',01742 \cdot T) \cdot \sin\Omega + (0'',2062 + 0'',00002 \cdot T) \cdot \sin(2\Omega) - \\ &\quad - (1'',3187 + 0'',00016 \cdot T) \cdot \sin(2F - 2D + 2\Omega) - \\ &\quad - (0'',1426 + 0'',00034 \cdot T) \cdot \sin(l') + \dots, \\ d\psi &= -(0'',2274 + 0'',00002 \cdot T) \cdot \sin(2F + 2\Omega) + \\ &\quad + (0'',0712 + 0'',00001 \cdot T) \cdot \sin(l) + \dots, \\ \Delta\varepsilon &= (9'',2025 + 0'',00089 \cdot T) \cdot \cos\Omega + (-0'',0895 + 0'',00005 \cdot T) \cdot \cos(2\Omega) + \\ &\quad + (0'',5736 - 0'',00031 \cdot T) \cdot \cos(2F - 2D + 2\Omega) + \dots, \\ d\varepsilon &= (0'',0977 - 0'',00005 \cdot T) \cdot \cos(2F + 2\Omega) + \dots\end{aligned}$$

Разложения фундаментальных аргументов имеют вид:

$$\begin{aligned}l &= 485866'',733 + (1325' + 715922'',633) \cdot T + 31'',310 \cdot T^2 + 0'',064 \cdot T^3, \\l' &= 1287099'',804 + (99' + 1292581'',224) \cdot T - 0'',577 \cdot T^2 - 0'',012 \cdot T^3, \\F &= 335778'',877 + (1342' + 295263'',137) \cdot T - 13'',257 \cdot T^2 + 0'',011 \cdot T^3, \\D &= 1072261'',307 + (1236' + 1105601'',328) \cdot T - 6'',891 \cdot T^2 + 0'',019 \cdot T^3, \\ \Omega &= 450160'',280 - (5' + 482890'',539) \cdot T + 7'',455 \cdot T^2 + 0'',008 \cdot T^3,\end{aligned}$$

где  $l' = 360^\circ = 1296000''$ ;

$l$  — средняя аномалия Луны;

$l'$  — средняя аномалия Солнца;

$F$  — средний аргумент широты Луны;

$D$  — разность средних долгот Луны и Солнца;

$\Omega$  — средняя долгота восходящего узла орбиты Луны.

Средний наклон  $\epsilon_0$  эклиптики к экватору задается разложением

$$\epsilon_0 = 84381'',448 - 46'',8150 \cdot T - 0'',00059 \cdot T^2 + 0'',001813 \cdot T^3.$$

В приведенных формулах  $T$  отсчитывается также как и ранее от стандартной эпохи J2000.0 в юлианских столетиях по 36525 суток.

5. Вычисление матрицы поворота истинной экваториальной равноденственной системы координат вокруг оси аппликат против часовой стрелки на угол, равный истинному звездному времени в Гринвиче

$$S = R_3(\tilde{S}),$$

где  $\tilde{S}$  — истинное гринвичское звездное время в момент наблюдений

$$\begin{aligned}\tilde{S} &= 6^h 41^m 50^s,54841 + 8640184^s,812866 \cdot T + 0^s,093104 \cdot T^2 - \\ &\quad - 6^s,2 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 + UT1 + \Delta\alpha,\end{aligned}$$

$$\Delta\alpha = \frac{1}{15} (\Delta\psi'' + d\psi'') \cdot \cos\epsilon — \text{нута́ция по прямому восхождению,}$$

$\epsilon = \epsilon_0 + \Delta\epsilon + d\epsilon$  — истинный наклон эклиптики к экватору.

6. Вычисление матрицы учета движения полюсов, обеспечивающей переход от мгновенной гринвичской системы координат к общеземной

$$P = R_2(-x_p) \cdot R_1(-y_p),$$

где  $x_p, y_p$  — координаты мгновенного полюса эпохи наблюдений относительно МУН. Поскольку эти величины не превышают  $1''$ , то при вы-

числении матриц  $R_1$  и  $R_2$  косинусы углов можно принять равными 1, а синусы заменить значениями самих углов, выраженными в радианах:

$$\Pi = \begin{pmatrix} 1 & 0 & x_p \\ 0 & 1 & -y_p \\ -x_p & y_p & 1 \end{pmatrix}.$$

7. Вычисление по топоцентрическим сферическим координатам ИСЗ  $(\rho'_s, \alpha'_s, \delta'_s)$  его топоцентрических прямоугольных координат  $(x'_s, y'_s, z'_s)$  в истинной экваториальной равноденственной системе координат эпохи наблюдений

$$\begin{pmatrix} x'_s \\ y'_s \\ z'_s \end{pmatrix} = \rho'_s \cdot \begin{pmatrix} \cos \alpha'_s \cdot \cos \delta'_s \\ \sin \alpha'_s \cdot \cos \delta'_s \\ \sin \delta'_s \end{pmatrix}.$$

8. Переход от эллипсоидальных геодезических координат  $(B, L, H)$  станции слежения к пространственным прямоугольным координатам  $(X, Y, Z)$  с началом в центре эллипсоида Красовского:

$$\begin{aligned} X &= (N + H) \cdot \cos B \cdot \cos L, \\ Y &= (N + H) \cdot \cos B \cdot \sin L, \\ Z &= (N + H - N \cdot e^2) \cdot \sin B, \end{aligned}$$

где  $B$  — геодезическая широта,

$L$  — геодезическая долгота,

$H$  — геодезическая высота,

$N$  — радиус кривизны первого вертикала (внутренний отрезок нормали к поверхности эллипсоида в точке с координатами  $B, L$  — от поверхности до пересечения с малой осью эллипсоида)

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 B}},$$

$a$  — большая полуось эллипсоида,

$e$  — первый эксцентриситет эллипсоида,  $e^2 = f \cdot (2 - f)$ ,

$f$  — сжатие эллипсоида.

9. Преобразование координат станции слежения из референционной системы СК-42 в общеземную систему ЕСК-90 по 7-параметрическим формулам Гельмерта:

$$\begin{pmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + (1 + \Delta m) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \omega_z & -\omega_y \\ -\omega_z & 1 & \omega_x \\ \omega_y & -\omega_x & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix},$$

где  $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$  — прямоугольные координаты в общеземной системе ЕСК-90;

$(1 + \Delta m)$  — масштабный коэффициент, характеризующий различие линейных масштабов в двух системах координат;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$  — углы Кардано (в радианах), соответствующие последовательным поворотам вокруг осей абсцисс, ординат и аппликат при переходе от референцной системы координат  $(X, Y, Z)$  к общеземной  $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$ ;

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  — координаты центра референц-эллипсоида Красовского в общеземной системе ЕСК-90 (см. рис. 1.1).

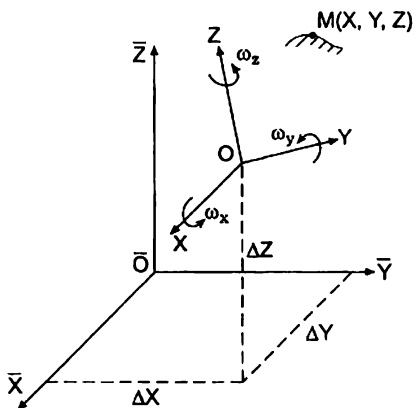


Рис. 1.1

10. Преобразование координат станции слежения из общеземной системы ЕСК-90 в мгновенную гринвичскую систему координат эпохи наблюдений

$$\begin{pmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{pmatrix} = \Pi^T \cdot \begin{pmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{pmatrix}.$$



11. Определение истинных экваториальных равноденственных координат станции слежения на эпоху наблюдений

$$\begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \\ \tilde{z} \end{pmatrix} = \mathbf{S}^T \cdot \begin{pmatrix} \tilde{X} \\ \tilde{Y} \\ \tilde{Z} \end{pmatrix}.$$

12. Определение геоцентрических координат ИСЗ  $(\tilde{x}_s, \tilde{y}_s, \tilde{z}_s)$  в истинной экваториальной равноденственной системе координат эпохи наблюдений

$$\begin{pmatrix} \tilde{x}_s \\ \tilde{y}_s \\ \tilde{z}_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x'_s \\ y'_s \\ z'_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \\ \tilde{z} \end{pmatrix}.$$

13. Определение геоцентрических координат ИСЗ  $(x_s, y_s, z_s)$  в средней экваториальной равноденственной системе координат эпохи наблюдений

$$\begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{pmatrix} = \mathbf{N}^T \cdot \begin{pmatrix} \tilde{x}_s \\ \tilde{y}_s \\ \tilde{z}_s \end{pmatrix}.$$

14. Определение геоцентрических координат ИСЗ  $(\bar{x}_s, \bar{y}_s, \bar{z}_s)$  в средней экваториальной равноденственной системе координат стандартной эпохи J2000.0

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_s \\ \bar{y}_s \\ \bar{z}_s \end{pmatrix} = \mathbf{P}^T \cdot \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{pmatrix}.$$

Исходные данные		
Координаты станций слежений		
B	55,0133638000	
L	5,5392591	
H	208,378	
Элементы ориентирования СК-42 в ЕСК 90		
ΔX	27,0	
ΔY	-143,0	
ΔZ	-83,0	в радианах
ω <sub>1</sub>	0,10	0,000000484814
ω <sub>2</sub>	-0,34	-0,000001648367
ω <sub>3</sub>	-0,65	-0,000003151289
Δm	0,0000002500	
Параметры эллипсоида Красовского		
a	6378245	
f	0,0033523299	
Результаты наблюдений ИСЗ		
UTC	15,7816625000	
ρ	1129907,24	
δ <sub>1</sub>	14,4924611000	
δ <sub>2</sub>	27,3672027778	
Всемирное время и координаты полюса		
ΔUTC	0,1505	
x <sub>p</sub>	0,170	
y <sub>p</sub>	0,510	
Дата		
Y	1991	
M	8	
D	26	

Вспомогательные вычисления

0,999999235042	0,000933565997	0,000811399509
-0,000933566304	0,999999564227	0,000000000000
-0,000811399156	-0,000000754955	0,999999670815

0,9999999996	-8,48734E-05	0
7,78686E-05	0,917468446	-0,397808552
3,37633E-05	0,39780855	0,91746845

0,6712292291

9. Матрица центра

1	-0,000003151289	0,000001648367
0,000003151289	1	0,000000484814
-0,000001648367	-0,00000484814	1

1+m

1,00000002500		
1+m*матрица центра		
1,000000250000	-0,000003151290	0,000001648367
0,000003151290	1,000000250000	0,000000484814
-0,000001648367	-0,00000484814	1,000000250000

1+m\*матрица центра\*матрица (XYZ)

441071,263607704000  
3638926,100522840000  
5202497,652446790000

П-трансп

1,000000000000	0,000000000002	-0,000000824183
0,000000000000	0,999999999997	0,000002472550
0,000000824183	-0,000002472550	0,999999999997

S-трансп

-0,856073292	0,516854446	0
-0,516854446	-0,856073292	0
0	0	1

N-трансп

0,999999996398	0,000077868626	0,000033763347
-0,000077869142	0,999999996852	0,000015266600
-0,000033762158	-0,000015269229	0,999999999313

P-трансп

0,999997927674	-0,001867158592	-0,000811398095
0,001867157978	0,999998256858	-0,000001515012
0,000811399509	0,000000000000	0,999999670815

Вычисления			
1. Переход от шкалы UTC к шкале UT1			
UT1	15,781704305556		
2. Вычисление Юлианской даты наблюдений			
JD	2448495,1575710100		
3. Вычисление матрицы прецессии			
T	-0,083500134948		
ξ <sub>A</sub>	-192,567428258803		
θ <sub>A</sub>	-167,363180964782		
Z <sub>A</sub>	-192,561900760484		
	0,999999670815	0	0,000811399509
R <sub>0</sub> A <sub>0</sub>	0	1	0
	-0,000811399509	0	0,999999670815
	0,999999564227	0,000933566304	0
R <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	-0,000933566304	0,999999564227	0
	0	0	1
	0,999999564202	0,000933593102	0
R <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	-0,000933593102	0,999999564202	0
	0	0	1
	0,999997927674	0,001867157978	0,000811399509
P	-0,001867158592	0,999998256858	0,000000000000
	-0,000811398095	-0,000001515012	0,999999670815
4. Вычисление матрицы нутации			
r	1296000		
I	-142960344,4184580000	-39711,206782905000	
II	-9534232,221060900000	-2648,397839183580	
F	-144914982,433659000000	-40254,161787127400	
D	-132775248,768920000000	-36882,013546922200	
Ω	1031562,631610510000	286,545157447365	
eΩ	84385,357053648500	23,440376959347	
Δψ	17,513015361061	0,004864726489	
dψ	-0,006629010632	-0,000001841392	
Δε	3,054962135137	0,000848600593	
dε	0,094271270426	0,000026186464	
	1	0	0
R <sub>1</sub>	0	0,917468449780	-0,397808551514
	0	0,397808551514	0,917468449780
	0,999999996398	-0,000084873356	0
R <sub>2</sub>	0,000084873356	0,999999996398	0
	0	0	1
	1	0	0
R <sub>12</sub>	0	0,917474523380	0,397794543638
	0	-0,397794543638	0,917474523380
	0,999999996398	-0,000077869142	-0,000033762158
N	0,000077868626	0,999999996852	-0,000015269229
	0,000033763347	0,000015266600	0,999999999313
5. Вычисление матрицы поворота истинной экваториальной равноденственной системы координат вокруг оси аппликата против часовой стрелки на угол, равный истинному звездному времени в Гринвиче			
ε	84388,506287054000		
Δα	1,070770476412		
SI	50669,157476892300		
	-0,856073292198	-0,516854446034	0
R <sub>3</sub> SI	0,516854446034	-0,856073292198	0
	0	0	1
6. Вычисление матрицы учета движения полюсов, обеспечивающей переход от мгновенной гринвичской СК к общеземной			
	1	0	0
B <sub>1</sub>	0	0,999999999997	-0,000002472550
	0	0,000002472550	0,999999999997
	1	0	0,000000824183
B <sub>2</sub>	0	1	0
	-0,000000824183	0	1
	1	0	0,000000824183
Π	0,000000000002	0,999999999997	-0,000002472550
	-0,000000824183	0,000002472550	0,999999999997
7. Вычисление по топоцентрическим сферическим координатам ИСЗ его топоцентрических прямоугольных координат в истинной равноденственной экваториальной СК			
(x <sub>i</sub> )	-797291,734463580000		
(y <sub>i</sub> )	-609287,124190874000		
(z <sub>i</sub> )	519408,761435239000		
8. Переход от эллипсоидальных геодезических координат (B, L, H) станции слежения к пространственным прямоугольным координатам (X, Y, Z) с наалом в центре эллипсоида Красовского:			
e2	0,006693421623		
N	6392621,615945260000		
X	441074,045007357000		
Y	3638921,278597170000		
Z	5202498,843073210000		
9. Преобразование координат станции слежения из СК42 в общеземную ЕСК90 по 7-параметрическим формулам Гельмерта			
(X90)	441098,263607704000		
(Y90)	3638783,100522840000		
(Z90)	5202414,652446790000		
10. Преобразование координат станции слежения из общеземной системы ЕСК90в мгновенную гринвичскую СК эпохи наблюдений			
(Xmг)	441093,975872062000		
(Ymг)	3638795,963740890000		
(Zmг)	5202406,018904360000		
11. Определение истинных экваториальных равноденственных координат станции слежения эпоху наблюдений			
(хИЗР)	1503119,099974760000		
(уИЗР)	-3343057,422865880000		
(zИЗР)	5202406,018904360000		
12. Определение геоцентрических координат ИСЗ в истинной экваториальной равноденственной СК на эпоху наблюдений			
(хИЗРs)	705827,36551177000		
(уИЗРs)	-3952344,547056760000		
(zИЗРs)	5721814,780339600000		
13. Определение геоцентрических координат ИСЗ в средней экваториальной равноденственной СК эпохи наблюдений			
(хСЗРs)	705712,786945034000		
(уСЗРs)	-3952312,144128090000		
(zСЗРs)	5721851,295410110000		
14. Определение геоцентрических координат ИСЗ в средней экваториальной равноденственной СК стандартной эпохи J2000.0			
(хСЗР2000)	708448,218815490000		
(уСЗР2000)	-3950996,246097220000		
(zСЗР2000)	5722422,026873700000		

Исходные данные			
Координаты станций слежения			
B	55.0131638		
L	5.1392091		
H	208,378		
Элементы ориентирования СК-42 в СК-90			
ΔX	27		
ΔY	-143		
ΔZ	-83		
α <sub>0</sub>	0,1	→РАДИАНЫ(С11/3600)	в радианах
α <sub>1</sub>	-0,34	→РАДИАНЫ(С12/3600)	
α <sub>2</sub>	-0,63	→РАДИАНЫ(С13/3600)	
Δm	-0,25*(10 <sup>-4</sup> ±0)		
Параметры эллипсоида Красовского			
a	6378245		
f	+1/298,3		
Результаты наблюдений ИСЗ			
UTC	15,7816625		
ρ <sub>0</sub>	1129907,24		
ρ <sub>1</sub>	14,4924611		
ρ <sub>2</sub>	27,387502778		
Всмирное время и координаты полюса			
ΔUTC	0,1505		
Δ <sub>0</sub>	0,17		
Δ <sub>1</sub>	0,51		
Дата			
Y	1991		
M	9		
D	26		

Вспомогательные вычисления

→МУМНОЖ(13,115;17,119)	→МУМНОЖ(13,115;17,119)	→МУМНОЖ(13,115;17,119)
→МУМНОЖ(13,115;17,119)	→МУМНОЖ(13,115;17,119)	→МУМНОЖ(13,115;17,119)
→МУМНОЖ(41,143;45,147)	→МУМНОЖ(41,143;45,147)	→МУМНОЖ(41,143;45,147)
→МУМНОЖ(41,143;45,147)	→МУМНОЖ(41,143;45,147)	→МУМНОЖ(41,143;45,147)
→МУМНОЖ(41,143;45,147)	→МУМНОЖ(41,143;45,147)	→МУМНОЖ(41,143;45,147)
→СИРАДИАНЫ(С41)*2		

9. Матрица центра

1	→D13	→*D12
→B47*-1	1	→D11
→C47*-1	→*C48	1

1+m

→*C14		
1+m*матрица центра		
→\$A52*^A47	→\$A52*^B47	→\$A52*^C47
→\$A52*^A48	→\$A52*^B48	→\$A52*^C48
→\$A52*^A49	→\$A52*^B49	→\$A52*^C49

1+m\*матрица центра\*матрица (XYZ)

→МУМНОЖ(А54,С56;Я9,1;Я93)		
→МУМНОЖ(А54,С56;Я9,1;Я93)		
→МУМНОЖ(А54,С56;Я9,1;Я93)		

П-трансп

→ТРАНСП(У77,179)	→ТРАНСП(У77,179)	→ТРАНСП(У77,179)
→ТРАНСП(У77,179)	→ТРАНСП(У77,179)	→ТРАНСП(У77,179)
→ТРАНСП(У77,179)	→ТРАНСП(У77,179)	→ТРАНСП(У77,179)

S-трансп

→ТРАНСП(Б4,166)	→ТРАНСП(Б4,166)	→ТРАНСП(Б4,166)
→ТРАНСП(Б4,166)	→ТРАНСП(Б4,166)	→ТРАНСП(Б4,166)
→ТРАНСП(Б4,166)	→ТРАНСП(Б4,166)	→ТРАНСП(Б4,166)

N-трансп

→ТРАНСП(У53,155)	→ТРАНСП(У53,155)	→ТРАНСП(У53,155)
→ТРАНСП(У53,155)	→ТРАНСП(У53,155)	→ТРАНСП(У53,155)
→ТРАНСП(У53,155)	→ТРАНСП(У53,155)	→ТРАНСП(У53,155)

R-трансп

→ТРАНСП(Z5,127)	→ТРАНСП(Z5,127)	→ТРАНСП(Z5,127)
→ТРАНСП(Z5,127)	→ТРАНСП(Z5,127)	→ТРАНСП(Z5,127)
→ТРАНСП(Z5,127)	→ТРАНСП(Z5,127)	→ТРАНСП(Z5,127)

Вычисления			
1. Переход от шкалы UTC к шкале UT1			
UT1	→C19(→C24/3600)		
2. Вычисление Юлианской даты наблюдений			
JD	→J21013,5+367*С28-ЦЕЛОЕ(↑(↑С28-ЦЕЛОЕ(↑(↑С29+Я/220)+ЦЕЛОЕ(↑275*С29/Я)-С28))		
3. Вычисление матрицы прецессии			
T	→J6-2415451/36525		
U	→2306,2181*Я+0,30188*ЯВ*2+0,017998*ЯВ*3		
W	→2004,3109*ЯВ+0,42460*ЯВ*2+0,041887*ЯВ*3		
Z	→396,2181*Я+1,09647*ЯВ*2+0,016303*ЯВ*3		
4. Вычисление матрицы прецессии			
→COS(РАДИАНЫ(10/3600))	0	→SIN(РАДИАНЫ(10/3600))	
R <sub>0,0</sub> 0	1	0	→COS(РАДИАНЫ(10/3600))
→SIN(РАДИАНЫ(10/3600))	0	0	→SIN(РАДИАНЫ(10/3600))
→COS(РАДИАНЫ(11/3600))	→SIN(РАДИАНЫ(11/3600))	0	0
R <sub>1,2</sub> 0	→COS(РАДИАНЫ(11/3600))	0	1
→SIN(РАДИАНЫ(11/3600))	→COS(РАДИАНЫ(11/3600))	0	0
→COS(РАДИАНЫ(19/3600))	→SIN(РАДИАНЫ(19/3600))	0	0
R <sub>1,6</sub> →SIN(РАДИАНЫ(19/3600))	0	0	1
0	0	0	0
→МУМНОЖ(А34,С36;J21,123)	→МУМНОЖ(А34,С36;J21,123)	→МУМНОЖ(А34,С36;J21,123)	
P	→МУМНОЖ(А34,С36;J21,123)	→МУМНОЖ(А34,С36;J21,123)	→МУМНОЖ(А34,С36;J21,123)
5. Вычисление матрицы прецессии			
Y	129600		
I	→48866,733+((1325*J29)+719822,633)*ЯВ-31,31*(ЯВ*2+0,064*ЯВ*3)	→J30/3600	
I1	→128709,804+(999*J29)+1292681,224*ЯВ-0,577*ЯВ*2+0,012*ЯВ*3	→J31/3600	
F	→39378,871+(1242*J29)+39363,137*ЯВ-1,2,237*ЯВ*2+0,012*ЯВ*3	→J32/3600	
D	→107261,307+((1384*J29)+1105601,328)*ЯВ-6,893*(ЯВ*2+0,019*ЯВ*3)	→J33/3600	
Q	→450160,28+(51*J29)+482809,539*ЯВ+7,455*(ЯВ*2+0,008*ЯВ*3)	→J34/3600	
Q0	→4431,444+46,451*ЯВ+0,00009*(ЯВ*2+0,00181*ЯВ*3)	→J35/3600	
Δφ	→17,1996+((0,01742*ЯВ)+СИРАДИАНЫ(Δφ)+0,2062*(0,00002*ЯВ)*СИРАДИАНЫ*С3	→186/3600	
Δφ	→(0,2274*(0,00002*ЯВ)*СИРАДИАНЫ*С32+2*С34)+((0,0712+0,00001*ЯВ)*СИРАДИАН	→J37/3600	
Δε	→9,2025+(0,00089*ЯВ)*COS(РАДИАНЫ(Δφ))+0,0895+(0,00005*ЯВ)*COS(РАДИАНЫ*С3	→J38/3600	
Δε	→0,0877+(0,00005*ЯВ)*COS(РАДИАНЫ*С32+2*С34)	→J39/3600	
R <sub>1</sub> 0	0	0	0
R <sub>1</sub> 0	→COS(РАДИАНЫ(К36-К37))	→K38-К39)	→K43*-1
0	→SIN(РАДИАНЫ(К36-К37))	→K45	0
0	0	0	1
R <sub>1,1</sub> 0	0	0	0
0	→COS(РАДИАНЫ(J35/3600))	→K51*-1	
0	→SIN(РАДИАНЫ(J35/3600))	→K50	
→МУМНОЖ(А39,С41;Я49,151)	→МУМНОЖ(А39,С41;Я49,151)	→МУМНОЖ(А39,С41;Я49,151)	
N	→МУМНОЖ(А39,С41;Я49,151)	→МУМНОЖ(А39,С41;Я49,151)	→МУМНОЖ(А39,С41;Я49,151)
→МУМНОЖ(А39,С41;Я49,151)	→МУМНОЖ(А39,С41;Я49,151)	→МУМНОЖ(А39,С41;Я49,151)	
6. Вычисление матрицы поворота истинной экваториальной равноденственной системы координат вокруг оси аппликата против часовой стрелки на угол, равный истинному звездному времени в Гринвиче			
ε	→J35+238*Я9		
Δε	→42,162*Я9+0,0179*COS(РАДИАНЫ(J50/3600))		
S	→(24150,54841+(8640184,81286*ЯВ)-(0,093104*ЯВ*2)+(6,2*10 <sup>-4</sup> *ЯВ*3)+4*3600+Δε		
7. Вычисление матрицы поворота истинной экваториальной равноденственной системы координат вокруг оси аппликата против часовой стрелки на угол, равный истинному звездному времени в Гринвиче			
→COS(РАДИАНЫ(Δε*15)/3600)	→SIN(РАДИАНЫ(Δε*15)/3600)	0	
R <sub>1,51</sub> 0	→K64*-1	0	0
0	0	0	1
8. Вычисление матрицы учета движения полюсов, обеспечивающей переход от истинной гравитической СК к обсерваторной			
1	0	0	0
0	→COS(РАДИАНЫ(С26/3600))	→SIN(РАДИАНЫ(С26/3600))	
0	→J70*-1	→K70	
1	0	→J75*-1	
0	1	0	0
→SIN(РАДИАНЫ(С25/3600))	0	1	0
→МУМНОЖ(Я9,1,7;J73,75)	→МУМНОЖ(Я9,1,7;J73,75)	→МУМНОЖ(Я9,1,7;J73,75)	
Π	→МУМНОЖ(Я9,1,7;J73,75)	→МУМНОЖ(Я9,1,7;J73,75)	→МУМНОЖ(Я9,1,7;J73,75)
→МУМНОЖ(Я9,1,7;J73,75)	→МУМНОЖ(Я9,1,7;J73,75)	→МУМНОЖ(Я9,1,7;J73,75)	
9. Вычисление по топотецентрическим сферическим координатам ИСЗ его топотецентрических прямоугольных координат в истинной равноденственной экваториальной СК			
Δ <sub>1</sub>	→C20*COS(РАДИАНЫ(С21*151)*COS(РАДИАНЫ(С22))		
Δ <sub>1</sub>	→C20*SIN(РАДИАНЫ(С21*151)*COS(РАДИАНЫ(С22))		
Δ <sub>1</sub>	→C20*SIN(РАДИАНЫ(С22))		
10. Переход от эллипсоидальных геодезических координат (B, L, H) станции слежения к пространственным прямоугольным координатам (X, Y, Z) с началом в центре эллипсоида Красовского:			
φ2	→C17*Δ2-Δ17		
N	→C18/КОС(ФН2)+Δ18*СИРАДИАНЫ(С41)*2		
X	→(Я9+С4)*COS(РАДИАНЫ(С41)*COS(РАДИАНЫ(15*С3))		
Y	→(Я9+С4)*COS(РАДИАНЫ(С41)*SIN(РАДИАНЫ(15*С3))		
Z	→(Я9+С4)*Я9*СИРАДИАНЫ(С4)		
11. Преобразование координат станции слежения из СК42 в общепринятую СК90 по 7-параметрическим формулам Гельмерта			
Y900	→С9+Δ59		
Y90	→С9+Δ60		
Z90	→C10+Δ61		
12. Преобразование координат станции слежения из общепринятой системы СК90 в истинную гравитическую СК эпохи наблюдений			
Y <sub>гн</sub>	→МУМНОЖ(Δ65,С67;Я96;Я98)		
Y <sub>гн</sub>	→МУМНОЖ(Δ65,С67;Я96;Я98)		
Z <sub>гн</sub>	→МУМНОЖ(Δ65,С67;Я96;Я98)		
13. Определение истинных экваториальных равноденственных координат станции слежения эпохи наблюдений			
Δ(Я9)	→МУМНОЖ(Δ71,С73;J101;J103)		
Δ(Я9)	→МУМНОЖ(Δ71,С73;J101;J103)		
Δ(Я9)	→МУМНОЖ(Δ71,С73;J101;J103)		
14. Определение геоцентрических координат ИСЗ в истинной экваториальной равноденственной СК эпохи наблюдений			
Δ(Я9)	→J83+J106		
Δ(Я9)	→J84+J107		
Δ(Я9)	→J85+J108		
15. Определение геоцентрических координат ИСЗ в средней экваториальной равноденственной СК эпохи наблюдений			
Δ(СЗ)	→МУМНОЖ(Δ77,С79;J111;J113)		
Δ(СЗ)	→МУМНОЖ(Δ77,С79;J111;J113)		
Δ(СЗ)	→МУМНОЖ(Δ77,С79;J111;J113)		
16. Определение геоцентрических координат ИСЗ в средней экваториальной равноденственной СК стандартной эпохи J2000,0			
Δ(СЗJ2000)	→МУМНОЖ(Δ83,С85;J116;J118)		
Δ(СЗJ2000)	→МУМНОЖ(Δ83,С85;J116;J118)		
Δ(СЗJ2000)	→МУМНОЖ(Δ83,С85;J116;J118)		