

Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 17: «Қазіргі аграрлық ғылым: цифрлық трансформация» атты халықаралық ғылыми – тәжірибелік конференцияға материалдар = Материалы международной научно – теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 17: «Современная аграрная наука: цифровая трансформация», посвященной 30 – летию Независимости Республики Казахстан.- 2021.- Т.2, Ч.1 - С. 180-184

## **ПРОВЕРКА ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ ПОЛУЧЕННЫХ КООРДИНАТ ВИДЕ ДОЛГОТЫ И ШИРОТЫ ТОЧЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPS ПРИЕМНИКОВ, МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКИХ ЛИНЕЙНЫХ КООРДИНАТ ИЗВЕСТНОЙ ТОЧКИ В ПРОСТРАНСТВЕННУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ**

*Абляева Д.*

В настоящее время с активным использованием GPS приемников, которые позволяют узнать свои геодезические координаты, часто возникает вопрос преобразования координат из одной системы в другую, рассмотрим используемые системы координат.

Геодезические координаты используются в навигации и картографии, а также спутниковыми навигационными системами для определения местоположения объектов на Земном эллипсоиде в реальном масштабе времени. Положение точки в геодезической системе координат характеризуется математическими координатами: абсциссой –  $Y$ , ординатой –  $X$  и аппликатой –  $H$ , и астрономическими: широтой –  $B$ , долготой –  $L$  и зенитом –  $Z$ . Которые, в свою очередь связаны между собой геодезическим азимутом.

Для геодезии используют прямоугольную пространственную систему координат, начало  $O$  которой находится в центре масс Земли, ось  $Z$  направлена по оси вращения Земли, ось  $X$  совмещена с линией пересечения плоскостей экватора и начального (гринвичского) меридиана, ось  $Y$  дополняет систему до право.

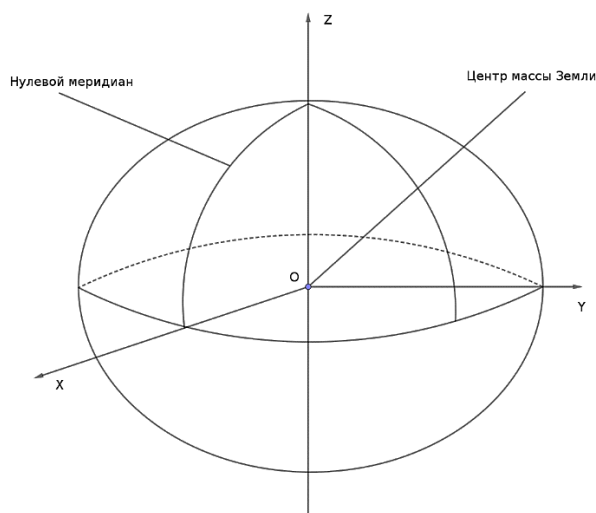


Рис.1. Прямоугольная пространственная система координат

Такую систему координат называют геоцентрической или общеземной. В общеземной системе координат определяют положение пунктов на всей поверхности Земли. К таким можно отнести WGS-84, CRS80, ПЗ-90.

Если система координат введена для определения положения точек на части земной поверхности, например, на территории одного государства, её начало  $O$  может быть значительно (до сотен метров) смещено относительно центра масс. В этом случае говорят о референцной системе координат.

Из-за неизбежных ошибок измерений при практическом задании общеземной системы возможно несовпадение её начала с центром масс Земли и повороты осей. В связи с этим существуют несколько реализаций общеземной геоцентрической системы координат, и возникает необходимость перехода от одной системы координат к другой. Задача преобразования координат возникает также при переходе от референцной системы координат к общеземной и обратно.

Система плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера.

Проекция Гаусса разработана в 1820-1830 гг. и применена на практике при вычислении ганноверской триангуляции для картографирования Германии.

Теория проекции Гаусса и ее математическое описание были впервые опубликованы немецким геодезистом Шрейбером в 1866 г. В 1912-1919 гг. другой немецкий математик Крюгер Иоганнес Луис (1857-1923), развивая идеи Гаусса, разработал математический аппарат конформной проекции эллипсоида на плоскость, получившей название проекции Гаусса-Крюгера.

В этой проекции цилиндр касается эллипсоида по меридиану, называемому центральным (осевым) меридианом

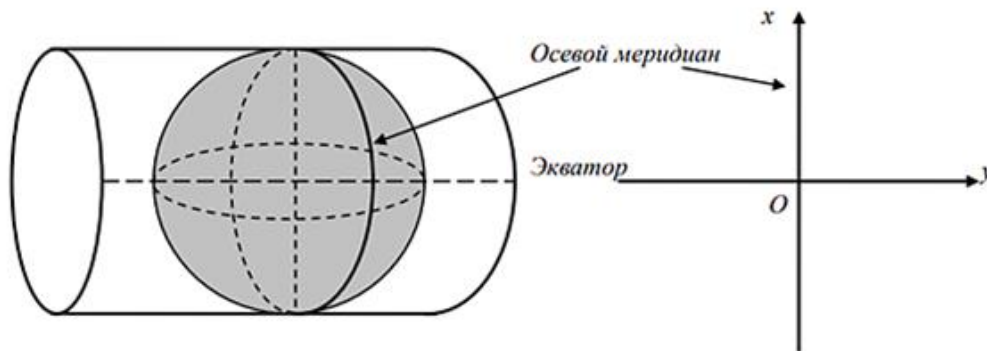


Рис.2. Проекция Гаусса-Крюгера:

- Цилиндр касается эллипсоида по центральному (осевому) меридиану, масштаб по которому равен 1 (слева);
- система плоских прямоугольных координат (справа)

Система координат в проекции Гаусса-Крюгера определяется следующими условиями:

- изображение на плоскости равноугольное;
- осевой меридиан и экватор изображаются на плоскости проекции прямыми линиями, принимаемыми за оси абсцисс и ординат, точка их пересечения является началом системы прямоугольных координат;
- масштаб вдоль осевого меридиана постоянный и принят равным единице.

В проекции Гаусса-Крюгера масштаб проекции быстро возрастает по мере удаления от осевого меридиана. Формула масштаба в функции прямоугольных координат имеет вид:

$$m = 1 + \frac{y^2}{2R^2} + \frac{y^4}{24R^2}$$

Вместе с увеличением масштаба проекции возрастают искажения длин конечных отрезков.

В СССР система прямоугольных координат Гаусса-Крюгера была впервые применена Н. Г. Келлем (1883-1965) – видным геодезистом, маркшейдером, педагогом, членом-корреспондентом АН СССР. А в марте в 1928 в постановлении Третьего геодезического совещания, было указано, что прямоугольные координаты Гаусса-Крюгера должны быть немедленно применены.

На базе указанной системы до сих пор строится Государственная система координат, а также местные системы координат.

Так как существует большое количество различных систем, а также плоских координат, появляется нужда в пересчете координат. В этой работе рассмотрен переход от плоских координат, с данными X и Y, к географическим координатам со значениями B и L.

Данное вычисление геодезических эллипсоидальных координат B, L и гауссова сближения меридианов по заданным прямоугольным координатам X, Y точек, является обратным к вычислению прямоугольных координат X, Y и гауссова сближения меридианов по геодезическим B и L заданной точки.

Нам даны результаты прямой задачи: прямоугольные координаты точки X, Y и долгота осевого меридиана зоны  $L_0$ , которые вычислены из  $B=51^{\circ}07'41''$  и  $L=71^{\circ}25'49''$ .

$$X=5\ 669\ 241.152\ 783\ 677;$$

$$Y=170\ 121.915\ 404\ 133;$$

$$L_0 = 69^{\circ}.$$

Нахождение B и L, а также  $\gamma$  по значениям X и Y выполняется по формулам:

$$B = B_x - [1 - (b_4 - 0.12z^2)z^2]z^2 b_2 \rho'';$$

$$l = [1 - (b_3 - b_5 z^2)z^2]z \rho'';$$

$$\gamma = [1 - (0.33333 - 0.00225 \cos^4 B_x)z^2]z \sin B_x \rho'';$$

В приведенных формулах приняты обозначения:

$$z = \frac{Y}{N_x} \cos B_x;$$

$$B_x = \beta + \{50221746 + [293622 + (2350 + 22 \cos^2 \beta) \cos^2 \beta] \cos^2 \beta\} 10^{-10} \sin \beta \cos \beta \rho'';$$

$$\beta = \frac{X}{6367558.4969} \rho'';$$

$$N_x = 6399698.92 - [21562.267 - (108.973 - 0.612 \cos^2 B_x) \cos^2 B_x] \cos^2 B_x;$$

$$b_2 = (0.5 + 0.003368 \cos^2 B_x) \sin B_x \cos B_x;$$

$$b_3 = 0.333333 - (0.166667 - 0.001123 \cos^2 B_x) \cos^2 B_x;$$

$$b_4 = 0.25 + (0.16161 + 0.00562 \cos^2 B_x) \cos^2 B_x;$$

$$b_5 = 0.2 - (0.1667 - 0.0088 \cos^2 B_x) \cos^2 B_x;$$

Вычисление геодезических координат  $B$  и  $L$  по прямоугольным  $X$  и  $Y$  координатам.

Таблица 1.

Номера действий	Обозначение величин	Числовые значения величин
1	$X$	5 669 241. 152 783 677
2	$\beta''$	183644.159277238
3	$\beta^\circ$	51.012266° 51°0'44.159177''
4	$\sin\beta$	0.77728
5	$\cos\beta$	0.629154
6	$\cos^2\beta$	0.3958347557
7	$B_x''$	184151.919282189
8	$B_x^\circ$	51.15331° 51°9'11.919282''
9	$\sin B_x$	0.778827
10	$\cos B_x$	0.62723868
11	$\cos^2 B_x$	0.39342836326
12	$\cos^4 B_x$	0.154785877
13	$N_x$	6391232.5248
14	$b_2$	0.244902486
15	$b_3$	0.2679353
16	$b_4$	0.3144518544
17	$b_5$	0.1357776
18	$N_x \cos B_x$	4008828.2524286
19	$Y$	170 121. 915 404 133
20	$z$	0.0424368
21	$z^2$	0.0018
22	$[1-(b_4-0,12z^2)z^2]z^2 b_2$	0.0044
23	$B''$	184061.16276752837896
24	$B^\circ$	51.1281° 51°7'41.163''
25	$l''$	8749.000638847
26	$l^\circ$	2°25'49''
27	$L = l^\circ + L_0$	2°25'49'' + 69° = 71°25'49''
28	$\gamma''$	6813.15673434
29	$\gamma^\circ$	1°53'33.15673434''

Вывод:

Исходные геодезические координаты  $B=51^{\circ}07'41''$  и  $L=71^{\circ}25'49''$ .

Полученные прямой задачей прямоугольные координаты

$X=5\ 669\ 241.152\ 783\ 677$  и  $Y=170\ 121.915\ 404\ 133$ .

Полученные обратной задачей геодезические координаты

$B=51^{\circ}7'41.163''$  и  $L=71^{\circ}25'49''$ .

Данный метод позволяет независимым способом проверять правильность работы устройств GPS и точность определения координат спутниковым методом, ее соответствие к заявленной точности изготовителем.

Использованный способ позволяет координаты известной точки преобразовать в пространственную криволинейную систему координат и сравнить с координатами полученные спутниковым методом с целью уточнение правильности выдачи координат спутниковых систем. Дополнительно, данный способ позволяет решать прикладные навигационные задачи особенно при возникновении вопроса использования не плоских прямоугольных координат, а криволинейную пространственную систему координат  $B$  – долготу и  $L$ -Широту. Например: в планирования маршрутов полетов различных летательных аппаратов, которые двигаются по воздушной трассе, а так же при кораблевождении или при решении различных навигационных задач.

#### Список литературы

1. Спутниковая геодезия: метод. Указания для выполнения практических и лабораторных работ / сост.: Н.Б. Хахулина; ВГТУ. – Воронеж. [[https://cchgeu.ru/upload/iblock/43e/metod\\_sputnikovye-sistemy-i-tehnologii-pozitsionirovaniya\\_gidz\\_2017.pdf](https://cchgeu.ru/upload/iblock/43e/metod_sputnikovye-sistemy-i-tehnologii-pozitsionirovaniya_gidz_2017.pdf)]
2. Высшая геодезия и основы координатно-временных систем. Контрольная работа №2: учебно-методическое пособие. — М.: МИИГАиК, 2017.— 60 с. [<file:///C:/Users/Admin/Downloads/56fdabc10e1da4a146b391ccae149483.pdf>]
3. Системы координат в геодезии. Научная монография / сост.: В.Л.Клепко, А.В.Александров ; УГГУ. – Екатеринбург. [<https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-cistemy-koordinat-v-geodezii.pdf>]
4. C. Pohl, van Genderen J.L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / Intern. J. Remote Sensing.-1998. - Vol. - 19. № 5. - P. 823–854.