Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет
Факультет транспортных коммуникаций
Кафедра «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Отчет
по лабораторной работе №2
«Главная геодезическая задача на эллипсоиде»
Вариант №6

Выполнил: ст.гр.11405118
Давидович Н.Ю.
Проверил: ст. преподаватель
Будо А.Ю.

Минск, 2021

2.1. Обратная Геодезическая Задача (ОГЗ) на эллипсоиде WGS84

Исходными данными в ОГЗ на эллипсоиде являются:

Широта и долгота первой точки φ_1, λ_1.

Широта и долгота второй точки φ_2, λ_2.

Необходимо найти:

Длина геодезической линии S

Прямой азимут α_1.

Обратный азимут α_2.

Ход решения

Действие 1. Вычисление в радианах разности широт и долгот, а также среднее значение широты.

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \tag{2.1}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \tag{2.2}$$

$$\varphi_{cp} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \tag{2.3}$$

Действие 2. Вычисление радиуса кривизны первого вертикала и меридиана и вспомогательные величины, которые обеспечат компактный вид формул и уменьшат сложность вычислений остальных величин.

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \left(\sin\left(\varphi_{cp}\right)\right)^2}} \tag{2.4}$$

$$M = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{\left(1 - e^2 \cdot \left(\sin\left(\varphi_{cp}\right)\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \tag{2.5}$$

где e^2 – квадрат эксцентриситета и равен

$$e^2 = 2 \cdot f - f^2 \tag{2.6}$$

a, f – параметры эллипсоида WGS84

Вспомогательные величины рассчитываются по следующим формулам

$$t = \mathrm{tg}\left(\varphi_{cp}\right) \tag{2.7}$$

$$\eta^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \cdot \left(\cos\left(\varphi_{cp}\right)^2\right) \tag{2.8}$$

$$V^2 = 1 + \eta^2 \tag{2.9}$$

$$f_1 = \frac{1}{M} \tag{2.10}$$

$$f_2 = \frac{1}{N} \tag{2.11}$$

$$f_3 = \frac{1}{24} \tag{2.12}$$

$$f_4 = \frac{1+\eta^2 - 9\cdot\eta^2\cdot t^2}{24\cdot V^4} \tag{2.13}$$

$$f_5 = \frac{1-2\cdot\eta^2}{24} \tag{2.14}$$

$$f_6 = \frac{\eta^2\cdot\left(1-t^2\right)}{8\cdot V^4} \tag{2.15}$$

$$f_7 = \frac{1+\eta^2}{12} \tag{2.16}$$

$$f_8 = \frac{3+8\cdot\eta^2}{24\cdot V^4} \tag{2.17}$$

Действие 3. Вычисление трех вспомогательных величин.

$$S\cdot\sin(\alpha)\;\; S\cdot\cos(\alpha)\;\; \Delta\alpha$$

по формулам

$$S\cdot\sin(\alpha) = \frac{1}{f_2}\cdot\Delta\lambda\cdot\cos(\varphi_{ср})\cdot\left(1 - f_3\cdot\left(\Delta\lambda\cdot\sin(\varphi_{ср})\right)^2 + f_4\cdot(\Delta\varphi)^2\right) \tag{2.18}$$

$$S\cdot\cos(\alpha) = \frac{1}{f_1}\cdot\Delta\varphi_{ср}\cdot\cos\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)\cdot\left(1 - f_5\cdot\left(\Delta\lambda\cdot\sin(\varphi_{ср})\right)^2 + f_6\cdot(\Delta\varphi)^2\right) \tag{2.19}$$

$$\Delta\alpha = \Delta\lambda\cdot\sin(\varphi_{ср})\cdot\left(1 + f_7\cdot\left(\Delta\lambda\cdot\cos(\varphi_{ср})\right)^2 + f_8\cdot(\Delta\varphi)^2\right) \tag{2.20}$$

Действие 4. Вычисления окончательных значений величин

Длина геодезической линии

$$S = \sqrt{\left(S\cdot\sin(\alpha)\right)^2 + \left(S\cdot\cos(\alpha)\right)^2} \tag{2.21}$$

Величина азимута вычисляется стандартно, т.е. как румб с учетом четверти.

$$\alpha = \mathrm{arctg}\left(\left|\frac{S\cdot\sin(\alpha)}{S\cdot\cos(\alpha)}\right|\right) \tag{2.22}$$

$$\alpha_1 = \alpha - \frac{\Delta\alpha}{2} \tag{2.23}$$

$$\alpha_2 = \alpha + \frac{\Delta\alpha}{2} + \pi \tag{2.24}$$

Значение азимутов должно находится в интервале

$$0 \le \alpha \le 2\pi \tag{2.25}$$

Результаты расчетов приведены ниже

Дано:	Решение:
φ_1=53˚36′00″	***Действие 1. Вычисление в радианах разности широт и долгот, а также среднее значение широты***
φ_2=53˚00′00″	$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ = -0,01047198рад
λ_1=27˚06′00″	$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ = 0,00872665 рад
λ_2=27˚36′00″	
S-?	$\varphi_{ср} = \dfrac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$ = 0,930260491 рад
α_1-?	***Действие 2. Вычисление радиуса кривизны первого вертикала и меридиана***
α_2-?	

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \left(\sin\left(\varphi_{ср}\right)\right)^2}} = 6391905{,}429\text{м}$$

$$M = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{\left(1 - e^2 \cdot \left(\sin\left(\varphi_{ср}\right)\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} = 6376556{,}736\text{м}$$

$$t = \operatorname{tg}\left(\varphi_{ср}\right) = 1{,}341602923$$

$$\eta^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \cdot \left(\cos\left(\varphi_{ср}\right)^2\right) = 0{,}00240705$$

$$V^2 = 1 + \eta^2 = 1{,}00240705$$

$$f_1 = \frac{1}{M} = 0{,}00000015682$$

$$f_2 = \frac{1}{N} = 0{,}00000015682$$

$$f_3 = \frac{1}{24} = 0{,}0416666$$

$$f_4 = \frac{1 + \eta^2 - 9 \cdot \eta^2 \cdot t^2}{24 \cdot V^4} = 0{,}0399497$$

$$f_5 = \frac{1 - 2 \cdot \eta^2}{24} = 0{,}0414660$$

$$f_6 = \frac{\eta^2 \cdot \left(1 - t^2\right)}{8 \cdot V^4} = -0{,}0002395$$

$$f_7 = \frac{1 + \eta^2}{12} = 0{,}0835339$$

$$f_8 = \frac{3 + 8 \cdot \eta^2}{24 \cdot V^4} = 0{,}1251989$$

Действие 3. Вычисления трех вспомогательных величин

$$S \cdot \sin(\alpha) = \frac{1}{f_2} \cdot \Delta\lambda \cdot \cos(\varphi_{ср}) \cdot \left(1 - f_3 \cdot (\Delta\lambda \cdot \sin(\varphi_{ср}))^2 + f_4 \cdot (\Delta\varphi)^2\right) =$$

= 33335,547 (м)

$$S \cdot \cos(\alpha) = \frac{1}{f_1} \cdot \Delta\varphi_{ср} \cdot \cos\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \cdot \left(1 - f_5 \cdot (\Delta\lambda \cdot \sin(\varphi_{ср}))^2 + f_6 \cdot (\Delta\varphi)^2\right) =$$

= -66774,583 (м)

$$\Delta\alpha = \Delta\lambda \cdot \sin(\varphi_{ср}) \cdot \left(1 + f_7 \cdot (\Delta\lambda \cdot \cos(\varphi_{ср}))^2 + f_8 \cdot (\Delta\varphi)^2\right) =$$

= 0,006996 (рад)

Действие 4. Вычисления окончательных значений величин

$$\mathrm{S} = \sqrt{(S \cdot \sin(\alpha))^2 + (S \cdot \cos(\alpha))^2} = 74633,\ 127 \text{ (м)}$$

$$\alpha = \mathrm{arctg}\left(\left|\frac{S \cdot \sin(\alpha)}{S \cdot \cos(\alpha)}\right|\right) = 0,463027 \text{ рад}$$

$$\alpha_1 = \alpha - \frac{\Delta\alpha}{2} = 5,89317 \text{ рад} = 153^\circ 16' \ 12,11''$$

$$\alpha_2 = \alpha + \frac{\Delta\alpha}{2} - \pi = 2,74447 \text{ рад} = 333^\circ 40' \ 15,33''$$

Ответ: S = 74633, 127 м

α_1 = 153°16′ 12,11″

α_2 = 333°40′ 15,33″

2.2. Прямая Геодезическая Задача (ПГЗ) на эллипсоиде WGS84

Исходными данными в ПГЗ на эллипсоиде являются:

Широта и долгота первой точки φ_1, λ_1.

Длина геодезической линии S

Прямой азимут α_1.

Необходимо найти:

Широта и долгота второй точки φ_2, λ_2.

Обратный азимут α_2.

Ход решения

Действие 1. Вычисляем приблизительные координаты точки 2

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \frac{S \cdot \cos(\alpha_1)}{M_1} \tag{2.26}$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \frac{S \cdot \sin(\alpha_1)}{N_1 \cdot \cos(\varphi_1)} \tag{2.27}$$

Действие 2. В ходе итерационного процесса вычисляются обратный азимут, широта и долгота второй точки по формулам.

$$\Delta\alpha = \Delta\lambda \cdot \sin(\varphi_{cp}) \cdot \left(1 + f_7 \cdot (\Delta\lambda \cdot \cos(\varphi_{cp}))^2 - f_4 \cdot \Delta\varphi^2\right) \tag{2.28}$$

$$\alpha = \alpha_1 + \frac{\Delta\alpha}{2} \tag{2.29}$$

$$\alpha_2 = \alpha + \frac{\Delta\alpha}{2} + \pi \tag{2.30}$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + f_2 \cdot \frac{S \cdot \sin(\alpha)}{\cos(\varphi_{cp})} \cdot \left(1 + f_3 \cdot (\Delta\lambda \cdot \sin(\varphi_{cp}))^2 - f_4 \cdot \Delta\varphi^2\right) \tag{2.31}$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + f_1 \cdot \frac{S \cdot \cos(\alpha)}{\cos\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)} \cdot \left(1 - f_5 \cdot (\Delta\lambda \cdot \cos(\varphi_{cp}))^2 - f_6 \cdot \Delta\varphi^2\right) \tag{2.32}$$

Перед началом каждой итерации перевычисляются значения формул (2.1 – 2.5), а также все необходимые для их вычисления вспомогательные величины (2.7 – 2.17). Итерации следует продолжать до тех пор, пока значения текущей и предыдущей итераций не будут отличаться на пренебрегаемо малую величину, которая зависит от вида выполняемых работ.

Дано:

φ_1=53°36′0″

λ_1=27°06′0″

α_1 =337°39′ 15,24″

S = 84370,169 м

φ_2-?

λ_2-?

α_2-?

Решение:

Действие 1. Вычисление приблизительных координат точки 2

$$N_1 = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\cdot(\sin(\varphi_1))^2}} = 6392013{,}081 \text{ м}$$

$$M_1 = \frac{a\cdot(1-e^2)}{\left(1-e^2\cdot(\sin(\varphi_1))^2\right)^{\frac{3}{2}}} = 6376878{,}92 \text{ м}$$

$$\varphi_2' = \varphi_1 + \frac{S\cdot\cos(\alpha_1)}{M_1} = 0{,}925043 \text{ рад}$$

$$\lambda_2' = \lambda_1 + \frac{S\cdot\sin(\alpha_1)}{N_1\cdot\cos(\varphi_1)} = 0{,}481834 \text{ рад}$$

Действие 2. В ходе итерационного процесса вычисляем обратный азимут, широта и долгота 2-ой точки

I итерация

$$\Delta\varphi = \varphi_2' - \varphi_1 = -0{,}010453 \text{ рад}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2' - \lambda_1 = 0{,}008849 \text{ рад}$$

$$\varphi_{ср}' = \frac{\varphi_1 + \varphi_2'}{2} = 0{,}930269 \text{ рад}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\cdot\left(\sin\left(\varphi_{ср}'\right)\right)^2}} = 6391905{,}625\text{м}$$

$$M = \frac{a\cdot(1-e^2)}{\left(1-e^2\cdot\left(\sin\left(\varphi_{ср}'\right)\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} = 6376557{,}321 \text{ м}$$

$$t = \mathrm{tg}\left(\varphi_{ср}'\right) = 1{,}341629$$

$$\eta^2 = \frac{e^2}{1-e^2}\cdot\left(\cos\left(\varphi_{ср}'\right)^2\right) = 0{,}002406$$

$$V^2 = 1+\eta^2 = 1{,}0024069$$

$$f_1 = \frac{1}{M} = 0{,}0000001568$$

$f_2 = \dfrac{1}{N}$ = 0,0000001564

$f_3 = \dfrac{1}{24}$ =0,041666

$f_4 = \dfrac{1+\eta^2 - 9\cdot\eta^2\cdot t^2}{24\cdot V^4}$ =0,039949

$f_5 = \dfrac{1-2\cdot\eta^2}{24}$ =0,041466

$f_6 = \dfrac{\eta^2\cdot(1-t^2)}{8\cdot V^4}$ = -0,000239

$f_7 = \dfrac{1+\eta^2}{12}$ = 0,083533

$f_8 = \dfrac{3+8\cdot\eta^2}{24\cdot V^4}$ = 0,125198

$\Delta\alpha = \Delta\lambda\cdot\sin(\varphi_{cp})\cdot\left(1+ f_7\cdot(\Delta\lambda\cdot\cos(\varphi_{cp}))^2 - f_4\cdot\Delta\varphi^2\right) =$

= -0,006988 рад

$\alpha = \alpha_1 + \dfrac{\Delta\alpha}{2}$ = 2,678614рад

$\alpha_2 = \alpha + \dfrac{\Delta\alpha}{2} - \pi$ =2,6821625 рад = 333°40′35,73″

$\varphi_2 = \varphi_1 + f_1\cdot\dfrac{S\cdot\cos(\alpha)}{\cos\left(\dfrac{\Delta\lambda}{2}\right)}\cdot\left(1- f_5\cdot(\Delta\lambda\cdot\cos(\varphi_{cp}))^2 - f_6\cdot\Delta\varphi^2\right) =$

=0,9250242 рад = 52°59′59,95″

$\lambda_2 = \lambda_1 + f_2\cdot\dfrac{S\cdot\sin(\alpha)}{\cos(\varphi_{cp})}\cdot\left(1+ f_3\cdot(\Delta\lambda\cdot\sin(\varphi_{cp}))^2 - f_4\cdot\Delta\varphi^2\right) =$

= 0,4817101 рад = 27°35′59,84″

II итерация

$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ = -0,004722 рад

$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ = 0,0087259 рад

$\varphi_{cp} = \dfrac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$ = 0,93026 рад

$N = \dfrac{a}{\sqrt{1-e^2\cdot(\sin(\varphi_{cp}))^2}}$ = 6391905,428м

$$M = \frac{a\cdot(1-e^2)}{\left(1-e^2\cdot\left(\sin\left(\varphi_{cp}\right)\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} = 6376556{,}729 \text{ м}$$

$$t = \mathrm{tg}\left(\varphi_{cp}\right) = 1{,}341602$$

$$\eta^2 = \frac{e^2}{1-e^2}\cdot\left(\cos\left(\varphi_{cp}\right)^2\right) = 0{,}002407$$

$$V^2 = 1+\eta^2 = 1{,}002407$$

$$f_1 = \frac{1}{M} = 0{,}0000001568$$

$$f_2 = \frac{1}{N} = 0{,}0000001564$$

$$f_3 = \frac{1}{24} = 0{,}041666$$

$$f_4 = \frac{1+\eta^2-9\cdot\eta^2\cdot t^2}{24\cdot V^4} = 0{,}039949$$

$$f_5 = \frac{1-2\cdot\eta^2}{24} = 0{,}041466$$

$$f_6 = \frac{\eta^2\cdot\left(1-t^2\right)}{8\cdot V^4} = -0{,}000239$$

$$f_7 = \frac{1+\eta^2}{12} = 0{,}083533$$

$$f_8 = \frac{3+8\cdot\eta^2}{24\cdot V^4} = 0{,}125198$$

$$\Delta\alpha = \Delta\lambda\cdot\sin\left(\varphi_{cp}\right)\cdot\left(1+\ f_7\cdot\left(\Delta\lambda\cdot\cos\left(\varphi_{cp}\right)\right)^2 - f_4\cdot\Delta\varphi^2\right) =$$

$$= 0{,}006996 \text{ рад}$$

$$\alpha = \alpha_1 + \frac{\Delta\alpha}{2} = 2{,}67856 \text{ рад}$$

$$\alpha_2 = \alpha + \frac{\Delta\alpha}{2} - \pi = 2{,}68206 \text{ рад} = 333^\circ 40' 15{,}2''$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + f_1\cdot\frac{S\cdot\cos(\alpha)}{\cos\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)}\cdot\left(1- f_5\cdot\left(\Delta\lambda\cdot\cos\left(\varphi_{cp}\right)\right)^2 - f_6\cdot\Delta\varphi^2\right) =$$

$$= 0{,}925024 \text{ рад} = 53^\circ 00' 00''$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + f_2 \cdot \frac{S \cdot \sin(\alpha)}{\cos(\varphi_{cp})} \cdot \left(1 + f_3 \cdot (\Delta\lambda \cdot \sin(\varphi_{cp}))^2 - f_4 \cdot \Delta\varphi^2\right) =$$

=0,4817108 рад = 27°36′00″

III итерация

$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ = 0,01047 рад

$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ = -0,008726 рад

$\varphi_{cp} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$ = 0,93026 рад

$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot (\sin(\varphi_{cp}))^2}}$ = 6391905,43 м

$M = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{\left(1 - e^2 \cdot (\sin(\varphi_{cp}))^2\right)^{\frac{3}{2}}}$ = 6376556,737 м

$t = \mathrm{tg}(\varphi_{cp})$=1,34160

$\eta^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \cdot \left(\cos(\varphi_{cp})^2\right)$= 0,002407

$V^2 = 1 + \eta^2$ = 1,002407

$f_1 = \frac{1}{M}$ = 0,0000001568

$f_2 = \frac{1}{N}$ = 0,0000001564

$f_3 = \frac{1}{24}$ = 0,041666

$f_4 = \frac{1 + \eta^2 - 9 \cdot \eta^2 \cdot t^2}{24 \cdot V^4}$ = 0,039949

$f_5 = \frac{1 - 2 \cdot \eta^2}{24}$ = 0,041466

$f_6 = \frac{\eta^2 \cdot (1 - t^2)}{8 \cdot V^4}$ = -0,000239

$f_7 = \frac{1 + \eta^2}{12}$ =0,083533

$f_8 = \frac{3 + 8 \cdot \eta^2}{24 \cdot V^4}$ 0,125198

$$\Delta\alpha = \Delta\lambda \cdot \sin(\varphi_{cp}) \cdot \left(1 + f_7 \cdot (\Delta\lambda \cdot \cos(\varphi_{cp}))^2 - f_4 \cdot \Delta\varphi^2\right) =$$

= =0,006996 рад

$$\alpha = \alpha_1 + \frac{\Delta\alpha}{2} = 2{,}67856 \text{ рад}$$

$$\alpha_2 = \alpha + \frac{\Delta\alpha}{2} - \pi = 2{,}682063 \text{ рад} = 333^\circ 40' 15{,}33''$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + f_1 \cdot \frac{S \cdot \cos(\alpha)}{\cos\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)} \cdot \left(1 - f_5 \cdot \left(\Delta\lambda \cdot \cos(\varphi_{cp})\right)^2 - f_6 \cdot \Delta\varphi^2\right) =$$

$= 0{,}992502$ рад $= 53^\circ 00' 00''$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + f_2 \cdot \frac{S \cdot \sin(\alpha)}{\cos(\varphi_{cp})} \cdot \left(1 + f_3 \cdot \left(\Delta\lambda \cdot \sin(\varphi_{cp})\right)^2 - f_4 \cdot \Delta\varphi^2\right) =$$

$= 0{,}48171$ рад $= 27^\circ 36' 00{,}00''$

Ответ: $\alpha_2 = 333^\circ 40' 15{,}33$

$\varphi_2 = 53^\circ 00' 00{,}0''$

$\lambda_2 = 27^\circ 36' 00{,}00''$

2.3. Вычисление кратчайшего расстояния между двумя исходными точками, проверить правильность пересчета и сравнить полученное значение с кратчайшим расстоянием на сфере.

Чтобы решить данную задачу необходимо воспользоваться описанием формы эллипсоида в параметрическом виде.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N(\varphi)\cdot\cos\varphi\sin\lambda \\ N(\varphi)\cdot\cos\varphi\cos\lambda \\ N(\varphi)\left(1-e^2\right)\sin\varphi \end{pmatrix} \qquad (2.33)$$

где $N(\varphi)$–первый вертикал

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\cdot(\sin(\varphi))^2}} \qquad (2.34)$$

Тогда координаты первой точки равны

X_1 = 3376702,942 м

Y_1 = 1727946,195 м

Z_1 = 5110559,821 м

Второй точки

X_2 = 3408941,343 м

Y_2 = 1782151,466 м

Z_2 = 5070543,503 м

Кратчайшее расстояние между двумя исходными точками находится по формуле

$$S = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 + Z_2)^2} \qquad (2.35)$$

S = 74632,702 м

Для проверки правильности нахождения расстояния необходимо пространственные прямоугольные координаты перевести в геодезические. Для этого воспользуемся следующими формулами.

$$\lambda = \mathrm{arctg}\left(\frac{Y}{X}\right) \qquad (2.36)$$

$$\varphi = \mathrm{arctg}\left(\frac{Z + \varepsilon\, b \sin^3(q)}{p - e^2\; a\cos^3(q)}\right) \qquad (2.37)$$

$$\varepsilon = \frac{e^2}{1-e^2} \qquad (2.40)$$

$$b = a\,(1-f) \qquad (2.41)$$

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2} \qquad (2.42)$$

$$q = arctg\left(\frac{Z\,a}{p\,b}\right) \qquad (2.43)$$

Тогда геодезические координаты будут равны соответственно

$\varepsilon = 0{,}006739$

$b = 6356752{,}314$ м $\varphi_1 = 53°36' \, 5{,}1''$

$p_1 = 3793141{,}285$ м $\lambda_1 = 27°06' \, 1{,}7''$

$q_1 = 0{,}93389$

$\varepsilon = 0{,}006739$

$b = 6356752{,}314$ м $\varphi_2 = 53°00'00{,}0''$

$p_2 = 3846679{,}728$ м $\lambda_2 = 27°36'00{,}0''$

$q_2 = 0{,}923409$

Сравним расстояния на сфере и на эллипсоиде

$S_{сф} = 74632{,}702$ м

$S_{эл} = 74633{,}127$ м

Вывод: расстояние на эллипсоиде зависит многих параметров, таких как, например, вдоль какой оси расположена линия. В случае с моим вариантом, расстояние на эллипсоиде вышло большим чем на сфере.