

УДК 528.23

И.В. Евглевский

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ ДЛЯ ТЕРРИТОРИЙ ПРОИЗВОЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ И КОНФИГУРАЦИЙ

Описываются основные положения общего алгоритма вычисления конформных проекций. Предлагается методика моделирования оптимальных условий для отображения территорий произвольных размеров и конфигураций на плоскость, основанного на математическом аппарате общего алгоритма вычисления геодезических проекций. Приведены характеристики оптимальных геодезических проекций крупнейших европейских государств.

Введение

Современные научно-технические достижения в области космических и информационных технологий предоставляют широкие возможности для решения задач получения и обработки сведений координатно-временного характера не только в целях изучения параметров Земли и их динамики, но и для оперативного и высокоточного установления взаимного положения объектов на земной поверхности и в околоземном пространстве.

Сочетание измерительных, отображающих и обрабатывающих технологий, реализованных в геоинформационных системах, обеспечивает учет и рациональное использование природных и хозяйственных ресурсов в интересах человечества как в мировом, так и региональном масштабах [1].

Важнейшее достоинство геоинформационных систем – это обеспечение возможности анализа пространственно-распределенных объектов земной поверхности и основанного на нем моделирования процессов.

В связи с этим актуальной является задача реализации математических методов обработки геодезических измерений, преобразования систем координат и трансформации картографических проекций, обеспечивающих однозначное определение координат объектов на местности посредством геопространственной информации [2]. Эта задача может быть решена в координатной среде геоинформационных систем, представляющей собой совокупность строгих математических законов преобразований поверхностей, реализованных программно-аппаратными средствами, для решения геодезических задач в рамках выбранной геодезической проекции.

Кроме преобразования поверхностей координатная среда должна обеспечивать возможность выбора оптимальных проекций для территорий (областей) любых размеров и конфигураций, учитывающих точность, удобство вычислений и величины искажений метрических элементов эллипсоида при их отображении на плоскости [3]. Решим задачу выбора оптимальных геодезических проекций на примере территорий крупнейших европейских государств, используя общий алгоритм вычислений конформных проекций, предложенный проф. В.П. Подшиваловым.

1. Методика выбора оптимальных проекций для отображения территорий произвольных размеров и конфигурации

Для нашей задачи ограничим процедуру выбора оптимальных проекций некоторыми условиями и ограничениями:

- рассматривается только прямое отображение поверхности эллипсоида на плоскость (решение прямой задачи преобразования поверхностей);
- геодезическая проекция выбирается из класса конформных проекций, характеризующихся наличием всесторонне проработанной теории;
- из всех возможных конформных отображений применяются только поперечно-цилиндрические, конические и азимутальные проекции, позволяющие сформировать общие выражения, наиболее удобные для реализации на компьютере;

– в качестве теоретической основы дальнейших рассуждений выступает общий алгоритм вычислений конформных (геодезических) проекций.

2. Общий алгоритм вычислений конформных проекций

Для отображения поверхности эллипсоида на плоскость применяются конформные отображения, сохраняющие форму фигур в бесконечно малой области:

$$x = f_1(B, L); y = f_2(B, L), \quad (1)$$

где B, L – геодезические координаты точки на поверхности эллипсоида;
 x, y – декартовы координаты изображения этой точки на плоскости;
 f_1, f_2 – произвольные функции, непрерывные вместе со своими производными любого порядка, отвечающие условиям конформности Коши – Римана:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial B} &= \frac{M}{N \cos B} \frac{\partial y}{\partial L}; \\ \frac{\partial y}{\partial B} &= -\frac{M}{N \cos B} \frac{\partial x}{\partial L}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь M, N – соответственно радиусы кривизны меридиана и первого вертикала как функции геодезической широты точки на поверхности эллипсоида.

Задавая конкретный вид функций (1), получают конкретные конформные отображения (геодезические проекции). Равноугольные проекции эллипсоида на плоскость осуществляются аналитической функцией комплексных переменных, связывающей изометрические координаты q, l на отображаемых поверхностях:

$$x + iy = f(q + il), \quad (3)$$

где q, l – изометрические координаты точки на поверхности эллипсоида;
 x, y – декартовы координаты изображения этой точки на плоскости.

Система изометрических координат q, l на эллипсоиде имеет такое свойство, что при условии $dq = dl$ позволяет разбить поверхность эллипсоида на множество бесконечно малых квадратов разной площади, при отображении которых на плоскость сохраняется равенство $dx = dy$ (а следовательно, сохраняется площадь отображаемых квадратов). Тогда некоторой точке со средними значениями координат q_0, l_0 малой области эллипсоида будет соответствовать точка на плоскости с координатами x_0, y_0 , а выражение (3) можно записать в виде

$$(x_0 + \Delta x) + i(y_0 + \Delta y) = f((q_0 + \Delta q) + i(L_0 + l)), \quad (4)$$

где L_0 – долгота осевого меридиана области эллипсоида.

Учитывая, что в выражении (4) $\Delta x, \Delta y, \Delta q$ и l (приращения координат) являются малыми величинами, разложим их в ряд согласно формуле Тейлора по степеням малых величин:

$$\Delta x + i\Delta y = f(\Delta q + il) = C_1(\Delta q + il) + C_2(\Delta q + il)^2 + C_3(\Delta q + il)^3 + \dots, \quad (5)$$

где коэффициенты C_j – производные вида

$$C_j = \frac{1}{j!} \left(\frac{\partial^j f}{\partial q^j} \right)_0. \quad (6)$$

Коэффициенты C_j являются функциями широты начальной точки отображаемой на плоскости области эллипсоида, постоянны для всей отображаемой области и определяют вид функции (3), описывающей конкретную геодезическую проекцию [1].

Общее алгоритмическое описание основных характеристик геодезических проекций [3] можно получить путем возведения в степень правых частей выражения (5) и использования условия равенства действительной и мнимой частей комплексных выражений:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= \sum_{j=1}^n (C_j P_j); \\ \Delta y &= \sum_{j=1}^n (C_j Q_j), \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где $P_j = P_1 P_{(j-1)} - Q_1 Q_{(j-1)}$; $Q_j = P_1 Q_{(j-1)} + Q_1 P_{(j-1)}$; $P_0 = 1$; $Q_0 = 0$; $P_1 = \Delta q$; $Q_1 = l$.

Вычисление производных, входящих в уравнение (2), позволяет найти общие выражения для частного масштаба длин изображений геодезических линий одной поверхности на другой [3]:

$$m = \frac{1}{r} \sqrt{k_1^2 + k_2^2}, \quad (8)$$

где $r = N \cos B$, а коэффициенты k_1 и k_2 вычисляются с помощью выражений

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= \frac{\partial x}{\partial L} = -\frac{\partial y}{\partial q} = -\sum_{j=1}^n (j C_j Q_{(j-1)}); \\ k_2 &= \frac{\partial x}{\partial q} = \frac{\partial y}{\partial L} = \sum_{j=1}^n (j C_j P_{(j-1)}). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Выражения (7)–(9) являются общими для каждого класса конформных проекций, вид которых определяется только значениями коэффициентов (6).

3. Характеристики уравнений, определяющих вид геодезических проекций

Известно [3, 4], что вид картинной плоскости в геодезических проекциях определяется масштабом осевого меридиана эллипсоида на плоскости и описывается уравнением

$$\Delta X_m = (X_m - X_0) = \sum_{j=1}^n C_j P_1^{(j)}. \quad (10)$$

Для поперечно-цилиндрической проекции уравнение осевого меридиана на плоскости имеет вид

$$\Delta X_m = \left(\frac{dX}{dq} \right)_0 \Delta q + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2 X}{dq^2} \right)_0 \Delta q^2 + \dots, \quad (11)$$

где X – длина дуги меридиана эллипсоида, отсчитанная от экватора до дуги с широтой B ;
 $dX = \left(\frac{c}{V^3} \right) dB$.

В выражении (11) производные вычисляются в фиксированной начальной точке поверхности с координатами B_0 или q_0 ; $\Delta q = q - q_0$; c – полярный радиус кривизны эллипсоида; V – одна из основных сфероидических функций; q – изометрическая широта точки поверхности; q_0 – изометрическая широта начальной точки поверхности.

Значения c, V, q (q_0) находятся из выражений

$$\left. \begin{aligned} c &= a / (1 - e^2)^{1/2}; \\ V &= (1 + \eta_1'^2)^{1/2}; \\ \eta^2 &= e^2 \cos^2 B; \\ q &= \ln \sqrt{\left(\frac{1 + \sin B}{1 - \sin B}\right) \left(\frac{1 - e \sin B}{1 + e \sin B}\right)^e} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где e, e' – первый и второй эксцентриситеты эллипсоида.

Для конической и квазистереографической проекции Русселя, являющейся частным случаем азимутальной проекции, вид картинной плоскости описывается выражениями

$$\Delta X_m = \frac{c}{V_0} \operatorname{ctg} B_0 [1 - \exp(-\Delta q \sin B_0)]; \quad (13)$$

$$\Delta X_m = \Delta X + \frac{\Delta X^3}{12R_0^2} + \frac{\Delta X^5}{120R_0^4} + \dots, \quad (14)$$

где $R_0 = c / V_0^2$; ΔX – длина дуги осевого меридиана между точками с широтами B и B_0 или q и q_0 ; V_0 – значение сфероидической функции в начальной точке поверхности. Значение масштаба в точке с координатами B_0, L_0 равно единице.

Преобразуя уравнения (11), (13), (14) и приводя их к выражению (10), получают значения коэффициентов C_j для отображения поверхности эллипсоида на плоскости [3], определяющих вид поперечно-цилиндрической (15), азимутальной (16) и конической проекций (17):

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= m_0 c \cos B_0 / V_0; \\ C_2 &= -C_1 \sin B_0 / 2; \\ C_3 &= C_1 \cos^2 B_0 (\operatorname{tg}^2 B_0 - V_0^2) / 6; \\ C_4 &= C_1 \sin B_0 \cos^2 B_0 (5 - \operatorname{tg}^2 B_0 + 9\eta_0^2 + 4\eta_0^4) / 24; \\ C_5 &= C_1 \cos^4 B_0 (5 - 18\operatorname{tg}^2 B_0 + \operatorname{tg}^4 B_0 + 14\eta_0^2 - 58\eta_0^2 \operatorname{tg}^2 B_0) / 120; \\ C_6 &= C_1 \sin B_0 \cos^4 B_0 (58\operatorname{tg}^2 B_0 - 61 - \operatorname{tg}^4 B_0 - 270\eta_0^2 + 330\eta_0^2 \operatorname{tg}^2 B_0) / 720; \\ C_7 &= C_1 \cos^6 B_0 (479\operatorname{tg}^2 B_0 - 61 - 179\operatorname{tg}^4 B_0 + \operatorname{tg}^6 B_0) / 5040; \\ C_8 &= C_1 \sin B_0 \cos^6 B_0 (1385 - 3111\operatorname{tg}^2 B_0 + 543\operatorname{tg}^4 B_0 - \operatorname{tg}^6 B_0) / 40320; \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= m_0 c \cos B_0 / V_0; \\ C_2 &= -C_1 \sin B_0 / 2; \\ C_3 &= C_1 \cos^2 B_0 (2\operatorname{tg}^2 B_0 - V_0^2) / 12; \\ C_4 &= C_1 \sin B_0 \cos^2 B_0 (2 - \operatorname{tg}^2 B_0 + 6\eta_0^2 + 4\eta_0^4) / 24; \\ C_5 &= C_1 \cos^4 B_0 (2 - 11\operatorname{tg}^2 B_0 + 2\operatorname{tg}^4 B_0 + 12\eta_0^2 - 91\eta_0^2 \operatorname{tg}^2 B_0) / 240; \\ C_6 &= C_1 \sin B_0 \cos^4 B_0 (26\operatorname{tg}^2 B_0 - 17 - 2\operatorname{tg}^4 B_0 - 270\eta_0^2 + 570\eta_0^2 \operatorname{tg}^2 B_0) / 1440; \\ C_7 &= C_1 \cos^6 B_0 (180\operatorname{tg}^2 B_0 - 17 - 114\operatorname{tg}^4 B_0 + 4\operatorname{tg}^6 B_0) / 20160; \\ C_8 &= C_1 \sin B_0 \cos^6 B_0 (62 - 192\operatorname{tg}^2 B_0 + 60\operatorname{tg}^4 B_0 - \operatorname{tg}^6 B_0) / 40320; \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$C_j = \frac{C_1}{j!} \cdot (-1)^{(j-1)} \cdot (\sin B_0)^{(j-1)} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n). \quad (17)$$

В выражениях (15)–(17) m_0 – значение масштаба на осевом меридиане для поперечно-цилиндрических проекций, на стандартной параллели в конических проекциях и в центральной точке азимутальной проекции.

Значение n в выражениях (15)–(17) может быть любым, поэтому ограничений по размерам области эллипсоида, изображаемой на плоскости, практически не существует. Для обеспечения односвязности поверхностей достаточно ввести ограничение $\Delta B = \Delta L_{max} < \pi$ [1].

Коэффициенты C_j постоянны для всей поверхности геодезической проекции, что и позволяет анализировать линейные искажения внутри поверхности посредством изменения значения масштаба m_0 в начальной ее точке.

4. Выбор оптимальных проекций для территорий произвольных размеров и конфигураций

На некоторой поверхности эллипсоида (территории произвольных размеров и конфигурации), отображаемой на плоскости, выберем начальную точку с координатами B_0, L_0 , принимаемыми для азимутальной проекции как координаты центра окружности, описанной вокруг изображаемой на плоскости области. Для поперечно-цилиндрической и конической проекций координаты начальной точки получим из выражений

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{1}{2}(L_e + L_w); \\ B_0 &= \frac{1}{2}(B_n + B_s), \end{aligned} \quad (18)$$

где L_e, L_w, B_n и B_s – значения восточной и западной долготы, северной и южной широты для крайних точек территории.

Изображая в геодезической проекции геодезические линии, опирающиеся на крайние точки отображаемой области, можно получить значения масштабов m'_{max} , определяющих в них наибольшие линейные искажения. Например, для поперечно-цилиндрической проекции значение m'_{max} характерно для точки с наибольшим значением $\Delta L_{max} = L - L_0$, для конической – с наибольшим значением $\Delta B_{max} = B - B_0$, а для азимутальной – для точки, наиболее удаленной от начальной точки.

Определим для m_{max} всей отображенной на плоскость области условие

$$1 - m_0 = m_{max} - 1, \quad (19)$$

тогда значение масштаба m_{max} при $m_0 < 1$ связано со значениями масштаба m'_{max} в крайних точках изображаемой области уравнением

$$m_{max} = m_0 m'_{max}. \quad (20)$$

Из выражений (19), (20) определяется предварительно вычисленное значение масштаба m_0 , оптимизирующее линейные искажения на плоскости:

$$m_0 = \frac{2}{1 + m'_{max}}. \quad (21)$$

Вычислить значения масштабов в крайних точках можно в процессе перехода от координат, длин, направлений и азимутов геодезической линии на эллипсоиде к соответствующим элементам на плоскости геодезической проекции.

При определении оптимального значения m_0 в проекции следует сравнить полученные значения m'_{max} различных проекций и выбрать среди них наиболее близкое к единице значение, которое и будет использовано в формуле (21).

В общем виде методика выбора оптимальной проекции для территорий произвольных размеров и конфигураций состоит из следующей последовательности действий.

1. Решить прямую задачу.
 - 1.1. Определить критические точки отображаемой на плоскости территории.
 - 1.2. Определить параметры отображения области на плоскость: характеристики поверхности (с соответствующими значениями L_0, B_0), параметры эллипсоида, вид проекции.
 - 1.3. Вычислить изометрические координаты начальных точек поверхностей, начальных и конечных точек геодезических линий.
 - 1.4. Вычислить значения коэффициентов P_i, Q_i, P_k, Q_k для точек геодезических линий.
 - 1.5. Вычислить вспомогательные элементы для определения коэффициентов C_j .
 - 1.6. Вычислить коэффициенты C_j .
 - 1.7. Вычислить коэффициенты k_j .
 - 1.8. Вычислить вспомогательные величины и элементы, определяющие параметры отображения геодезических линий на плоскости в геодезических проекциях.
 2. Проанализировать параметры изображения.
 - 2.1. Из максимальных значений m'_{max} во всех крайних точках геодезических линий, отображенных во всех геодезических проекциях, выбрать значение, наименее отличное от единицы.
 - 2.2. Из выражения (21) предварительно вычислить значение m_o , приводящее к оптимальному распределению линейных искажений проекции.
 - 2.3. Повторить вычисления для геодезических линий, отображаемых в геодезических проекциях со значением масштаба осевого меридиана m_o .
- В качестве примера приведем основные численные характеристики геодезических проекций и линейные искажения в них, вычисленные для территории Австрии (табл. 1).

Таблица 1

Основные величины, позволяющие выбрать вид и параметры оптимальной проекции для Австрии

Условные обозначения	Вид проекции		
	Поперечно-цилиндрическая	Коническая	Азимутальная
B_n	–	49°	–
L_n	–	15° 05'	–
m_n	1,00027901	1,00035005	1,00031602
B_s	–	46° 20'	–
L_s	–	14° 35'	–
m_s	1,00003584	1,00018973	1,00011251
B_w	–	47° 15'	–
L_w	–	9° 30'	–
m_w	1,00101013	1,00000195	1,00050210
B_e	–	48° 00'	–
L_e	–	17° 10'	–
m_e	1,00102457	1,00003636	1,00003636
$(\delta S/S)_{max}^*$	1:980	1:3700	1:1930
m_{onm}	–	0,999826	–
$(\delta S/S)_{onm}^*$	–	1:7400	–

Примечание: $(\delta S/S)^*$ – линейное искажение отображения геодезической линии.

Для крупнейших европейских стран с соответствующими крайними точками (табл. 2) определим оптимальные величины различных геодезических проекций (табл. 3, 4). Решение данной задачи позволяет создавать оптимальную общегосударственную систему плоских прямоугольных координат государства, когда вся его территория изображается в одной координатной зоне. Для всех проекций использовался эллипсоид WGS-84 с параметрами: $a = 6378137,0$; $e^2 = 0,00669437999$; $\alpha = 1/298,257223563$.

Таблица 2

Координаты крайних точек территорий крупнейших европейских государств

Государство	B_n	L_n	B_s	L_s	B_w	L_w	B_e	L_e
Австрия	49 ⁰ 00	15 ⁰ 05	46 ⁰ 20	14 ⁰ 35	47 ⁰ 15	9 ⁰ 30	48 ⁰ 00	17 ⁰ 10
Албания	42 ⁰ 40	19 ⁰ 45	39 ⁰ 40	20 ⁰ 15	40 ⁰ 25	19 ⁰ 20	40 ⁰ 35	21 ⁰ 05
Бельгия	51 ⁰ 30	4 ⁰ 45	49 ⁰ 30	5 ⁰ 30	51 ⁰ 05	2 ⁰ 30	50 ⁰ 20	6 ⁰ 25
Болгария	44 ⁰ 15	22 ⁰ 30	41 ⁰ 15	25 ⁰ 15	42 ⁰ 20	22 ⁰ 20	43 ⁰ 30	28 ⁰ 35
Босния и Герцеговина	45 ⁰ 15	16 ⁰ 55	42 ⁰ 30	18 ⁰ 30	44 ⁰ 50	15 ⁰ 40	44 ⁰ 00	19 ⁰ 35
Великобритания	58 ⁰ 40	3 ⁰ 10 *	49 ⁰ 55	5 ⁰ 10 *	54 ⁰ 25	8 ⁰ 10 *	52 ⁰ 30	1 ⁰ 50
Венгрия	48 ⁰ 35	21 ⁰ 25	45 ⁰ 45	18 ⁰ 25	46 ⁰ 50	16 ⁰ 05	52 ⁰ 30	22 ⁰ 55
Германия	54 ⁰ 55	8 ⁰ 40	47 ⁰ 15	10 ⁰ 15	51 ⁰ 05	5 ⁰ 55	51 ⁰ 15	15 ⁰ 00
Греция	41 ⁰ 45	26 ⁰ 05	34 ⁰ 55	24 ⁰ 45	39 ⁰ 45	19 ⁰ 40	36 ⁰ 20	28 ⁰ 15
Дания	57 ⁰ 45	10 ⁰ 35	54 ⁰ 35	12 ⁰ 00	55 ⁰ 35	8 ⁰ 05	55 ⁰ 40	12 ⁰ 40
Ирландия	55 ⁰ 20	7 ⁰ 20 *	51 ⁰ 45	9 ⁰ 50 *	52 ⁰ 05	10 ⁰ 35 *	52 ⁰ 55	6 ⁰ 00 *
Исландия	66 ⁰ 35	16 ⁰ 15 *	63 ⁰ 45	19 ⁰ 05 *	65 ⁰ 30	24 ⁰ 30 *	65 ⁰ 05	13 ⁰ 25 *
Испания	43 ⁰ 45	7 ⁰ 40 *	36 ⁰ 00	5 ⁰ 40 *	42 ⁰ 55	9 ⁰ 15 *	42 ⁰ 20	3 ⁰ 20
Италия	47 ⁰ 05	12 ⁰ 10	36 ⁰ 40	15 ⁰ 05	45 ⁰ 05	6 ⁰ 35	40 ⁰ 10	18 ⁰ 30
Македония	42 ⁰ 20	22 ⁰ 15	40 ⁰ 50	21 ⁰ 05	41 ⁰ 20	20 ⁰ 30	41 ⁰ 45	23 ⁰ 00
Нидерланды	53 ⁰ 30	6 ⁰ 45	50 ⁰ 45	6 ⁰ 00	51 ⁰ 20	3 ⁰ 20	53 ⁰ 00	7 ⁰ 15
Норвегия	71 ⁰ 10	27 ⁰ 40	57 ⁰ 55	7 ⁰ 00	61 ⁰ 50	4 ⁰ 50	70 ⁰ 25	31 ⁰ 10
Польша	54 ⁰ 50	18 ⁰ 00	49 ⁰ 00	22 ⁰ 55	52 ⁰ 55	14 ⁰ 10	50 ⁰ 50	24 ⁰ 10
Португалия	42 ⁰ 10	8 ⁰ 10 *	37 ⁰ 00	9 ⁰ 00 *	38 ⁰ 45	9 ⁰ 25 *	41 ⁰ 35	6 ⁰ 10 *
Румыния	48 ⁰ 15	26 ⁰ 45	43 ⁰ 35	25 ⁰ 20	46 ⁰ 10	20 ⁰ 15	45 ⁰ 10	29 ⁰ 45
Сербия и Черногория	46 ⁰ 10	19 ⁰ 40	41 ⁰ 55	20 ⁰ 35	42 ⁰ 35	18 ⁰ 30	43 ⁰ 10	23 ⁰ 00
Словакия	49 ⁰ 35	19 ⁰ 30	47 ⁰ 45	17 ⁰ 50	48 ⁰ 20	16 ⁰ 50	49 ⁰ 00	22 ⁰ 30
Словения	46 ⁰ 55	16 ⁰ 15	45 ⁰ 25	14 ⁰ 20	46 ⁰ 15	13 ⁰ 20	46 ⁰ 30	16 ⁰ 30
Финляндия	70 ⁰ 05	27 ⁰ 50	59 ⁰ 50	23 ⁰ 00	69 ⁰ 05	20 ⁰ 35	62 ⁰ 55	31 ⁰ 40
Франция	51 ⁰ 05	2 ⁰ 30	42 ⁰ 20	2 ⁰ 30	48 ⁰ 25	4 ⁰ 45 *	49 ⁰ 00	8 ⁰ 15
Хорватия	46 ⁰ 30	16 ⁰ 20	42 ⁰ 20	18 ⁰ 30	45 ⁰ 30	13 ⁰ 30	45 ⁰ 10	19 ⁰ 25
Чехия	51 ⁰ 05	14 ⁰ 20	48 ⁰ 30	14 ⁰ 20	50 ⁰ 20	12 ⁰ 05	49 ⁰ 30	18 ⁰ 50
Швейцария	47 ⁰ 50	8 ⁰ 35	45 ⁰ 50	9 ⁰ 00	46 ⁰ 10	5 ⁰ 55	46 ⁰ 05	10 ⁰ 30
Швеция	69 ⁰ 05	20 ⁰ 35	55 ⁰ 20	13 ⁰ 25	59 ⁰ 00	11 ⁰ 10	65 ⁰ 50	24 ⁰ 10

Примечание: * – западная долгота.

Таблица 3

Значения линейных искажений отображения территорий крупнейших европейских государств в геодезических проекциях с масштабом осевого меридиана $m_0 = 1$

Государство	Проекция поперечно-цилиндрическая	Проекция коническая	Проекция азимутальная
1	2	3	4
Австрия	1:980	1:3700	1:1930
Албания	1:34420	1:2920	1:5690
Бельгия	1:4050	1:6590	1:10620
Болгария	1:1230	1:2920	1:2270
Босния и Герцеговина	1:3020	1:3480	1:4580
Великобритания	1:760	1:340	1:660
Венгрия	1:1200	1:3280	1:2160
Германия	1:800	1:440	1:860
Греция	1:270	1:560	1:400
Дания	1:4420	1:2620	1:4490
Ирландия	1:4190	1:2050	1:3460
Исландия	1:1210	1:3280	1:2370
Испания	1:290	1:430	1:410
Италия	1:330	1:240	1:450
Македония	1:7600	1:11700	1:14730

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
Нидерланды	1:4490	1:3480	1:5540
Норвегия	1:220	1:140	1:200
Польша	1:680	1:770	1:1130
Португалия	1:3700	1:980	1:1800
Румыния	1:590	1:1200	1:1180
Сербия и Черногория	1:2870	1:1450	1:2730
Словакия	1:1860	1:7840	1:3620
Словения	1:5140	1:11710	1:9240
Финляндия	1:1210	1:240	1:480
Франция	1:390	1:340	1:520
Хорватия	1:1400	1:1510	1:2190
Чехия	1:1370	1:3940	1:2600
Швейцария	1:2900	1:6580	1:5340
Швеция	1:710	1:130	1:260

Таблица 4

Характеристики оптимальных геодезических проекций для территорий крупнейших европейских государств (m_o – оптимальный масштаб)

Государство	Оптимальная проекция	Значение масштаба в центральной точке проекции	Линейные искажения в оптимальных проекциях
1	2	3	4
Австрия	Коническая	0,999826	1:7400
Албания	Поперечно-цилиндрическая	0,999948	1:70010
Бельгия	Азимутальная	0,999912	1:22130
Болгария	Коническая	0,999784	1:6120
Босния и Герцеговина	Азимутальная	0,999862	1:10020
Великобритания	Поперечно-цилиндрическая	0,999344	1:1570
Венгрия	Коническая	0,999805	1:6810
Германия	Азимутальная	0,999390	1:1790
Греция	Коническая	0,999001	1:1140
Дания	Азимутальная	0,999887	1:10000
Ирландия	Поперечно-цилиндрическая	0,999872	1:8900
Исландия	Коническая	0,999813	1:7000
Испания	Коническая	0,998725	1:900
Италия	Азимутальная	0,998803	1:1000
Македония	Азимутальная	0,999961	1:30260
Нидерланды	Азимутальная	0,999875	1:12360
Норвегия	Поперечно-цилиндрическая	0,997450	1:470
Польша	Азимутальная	0,999543	1:2340
Португалия	Поперечно-цилиндрическая	0,999829	1:7800
Румыния	Коническая	0,999512	1:2570
Сербия и Черногория	Поперечно-цилиндрическая	0,999820	1:6110
Словакия	Коническая	0,999909	1:17240
Словения	Коническая	0,999935	1:23700
Финляндия	Поперечно-цилиндрическая	0,999563	1:2540

Продолжение табл. 4

1	2	3	4
Франция	Азимутальная	0,999008	1:1210
Хорватия	Азимутальная	0,999756	1:4820
Чехия	Коническая	0,999835	1:8060
Швейцария	Коническая	0,999924	1:13150
Швеция	Поперечно-цилиндрическая	0,999228	1:1520

Из табл. 3, 4 видно, что линейные искажения при отображении территорий в определенных проекциях уменьшаются практически в два раза.

Заключение

На основе общего алгоритма вычислений геодезических проекций процесс моделирования величин и характера распределения искажений в заданных областях земной поверхности представляет собой задачу, легко решаемую современными вычислительными средствами в целях проектирования общегосударственных, региональных и локальных систем координат, выбора оптимальных проекций для выполнения геодезических работ, а также проведения различных научных исследований в области теории конформных проекций.

Выбор оптимальных проекций для территорий произвольных размеров и конфигураций является только одной из широкого спектра задач, решаемых в рамках общего алгоритма вычисления проекций. Дальнейшая перспектива применения алгоритма видится в совмещении его с математическим аппаратом, обеспечивающим спутниковые технологии дистанционного зондирования Земли. Практически решить данную задачу можно путем объединения геоинформационных и спутниковых технологий, позволяющих в оперативном режиме осуществлять связь (преобразование) различных систем координат и обосновывать выбор оптимальных геодезических проекций для определенных условий решаемой задачи.

Список литературы

1. Подшивалов В.П. Теория изыскания наилучших геодезических проекций: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1998. – 30 с.
2. Абламейко С.В., Апарин Г.П., Крючков А.Н. Географические информационные системы. Создание цифровых карт. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000. – 276 с.
3. Подшивалов В.П. Теоретические основы формирования координатной среды для геоинформационных систем. – Новополоцк: Издание университетское, 1998. – 126 с.
4. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии. – М.: Недра, 1979. – 296 с.

Поступила 12.05.05

*Научно-исследовательский институт
Вооруженных Сил Республики Беларусь,
Минск, Калиновского, 4*

I.V. Yauhleuski

THE CHOICE OF OPTIMUM GEODESIC PROJECTIONS FOR TERRITORIES OF ANY SIZES AND CONFIGURATIONS

Substantive provisions of the general calculation algorithm of conformal projections are described. The technique of modelling of optimal conditions for mapping to the plane of territories of any sizes and configurations, the general algorithm of calculation of geodesic projections are proposed. Characteristics of optimal geodesic projections of the largest European countries are presented.