

УДК 528.235(043.3)

РАЗРАБОТКА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЛЯ ОБРАТНЫХ АЛГОРИТМОВ В ПРОЕКЦИЯХ МЕРКАТОРА И РУССИЛЯ

*М.С. АКРЕШ
(Полоцкий государственный университет)*

Представлена полученная новая закономерность для определения коэффициентов характеристических уравнений в обратных алгоритмах вычислений для проекции Меркатора и Руссия, позволяющая применять данные проекции при изображении значительных по размерам территорий с точностью, достаточной для решения научных и практических задач геодезии. Произведена оценка точности алгоритма вычислений для различных размеров изображаемых в проекциях территорий. Приведены выражения для этих коэффициентов до двенадцатого порядка и осуществлена их апробация на экваторе и параллелях с широтой в 29° и 50°. В результате с высокой точностью определены координаты в прямом и обратном переходах. Также приведены результаты вычислений расстояний (до 2000 км) на плоскости проекции с точностью до миллиметра.

Введение. В последние годы с развитием компьютерных технологий вычислений и все более широким применением спутниковых систем позиционирования для определения местоположения точек на земной поверхности и в околоземном пространстве возникают актуальные вопросы повышения точности вычисления численных характеристик проекций электронных карт. Как известно, точность вычислений в проекциях должна быть на порядок выше точности измерений, в этом случае можно создать электронные карты, в полной мере отражающие информацию, полученную из измерений. Это позволит расширить возможности создания картографо-геодезической основы высокоточных геоинформационных систем (ГИС) в виде банков данных электронных карт. При использовании традиционных подходов в создании электронных карт для известных в Ливии ГИС вычисление производят в различных геодезических проекциях: поперечно-цилиндрической Гаусса и квазистереографической проекции Руссия. При этом на территории Ливии или любых других территориях возникает необходимость применения нескольких координатных зон. Увеличение размеров зон приводит при этом к существенному снижению точности вычислений и возрастанию искажений геометрических элементов, а также при преобразовании прямоугольных координат в геодезические, и обратно.

В настоящее время в некоторых странах используется новый метод, основанный на гармонических уравнениях. Здесь можно строить геодезические проекции с различными значениями широты и долготы главной точки проекции. В данных изображениях размеры зоны зависят от необходимой точности вычисления в прямых и обратных алгоритмах, поэтому эти алгоритмы играют важную роль в создании новых проекций для решения различных геодезических задач, а также для ГИС. Как мы знаем, прямые алгоритмы в любых проекциях можно определить по обычным уравнениям или по рекуррентному выражению для конической проекции Ламберта [1, 3]. В обратных алгоритмах возникают трудности при использовании проекций Гаусса и Руссия по методу обращения степенного ряда. В проекции Ламберта легко определить обратные алгоритмы с рекуррентным выражением до любой степени [1].

Сегодня в мире известны выражения обратных алгоритмов до восьмой степени, в которых решают задачи отображения в зонах с размерами 12×12 градусов [1]. Недавно появились публикации до девятой и десятой степеней разложения в обратных алгоритмах для проекций Меркатора и Руссия [2, 7].

Цель данного исследования заключается в анализе и определении того, как получить обратные алгоритмы вычислений в проекциях Гаусса, Руссия, а следовательно и в композиционных геодезических проекциях, по новому методу.

Новые выражения для обратных алгоритмов. В специальной литературе широко известны формулы геодезических проекций, основанные на разложениях в рядах до восьмой степени. В работах [2 – 7] приведены формулы с удержанием девяти и десяти членов разложения. Исследования показывают, что возможно установить закономерности для бесконечных алгоритмов. С помощью работы [2] можно увидеть закономерности соотношений между ними. Для анализа приведем выражения для коэффициентов обращенного степенного ряда до десятой степени:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{C_1}, \quad C_2 = -\frac{C_2}{C_1^3}, \quad C_3 = \frac{1}{C_1^5}(2C_2^2 - C_1C_3), \quad C_4 = \frac{1}{C_1^7}(-5C_2^3 - C_1^2C_4 + 5C_1C_2C_3) \\ C_5 &= \frac{1}{C_1^9}(14C_2^4 - C_1^3C_5 + 3C_1^2C_3^2 + 6C_1^2C_2C_4 - 21C_1C_2^2C_3) \\ C_6 &= \frac{1}{C_1^{11}}(-42C_2^5 - C_1^4C_6 + 7C_1^3C_2C_5 + 7C_1^3C_3C_4 - 28C_1^2C_2C_3^2 - 28C_1^2C_2^2C_4 + 84C_1C_2^3C_3) \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} C_7 &= \frac{1}{C_1^{13}} \left(\begin{array}{l} 132C_2^6 - C_1^5 C_7 + 4C_1^4 C_4^2 + 8C_1^4 C_2 C_6 + 8C_1^4 C_3 C_5 - 12C_1^3 C_3^3 - 36C_1^3 C_2^2 C_5 - 72C_1^3 C_2 C_3 C_4 + \\ + 120C_1^2 C_2^3 C_4 + 180C_1^2 C_2^2 C_3^2 - 330C_1^2 C_2^4 C_3 \end{array} \right) \\ C_8 &= \frac{1}{C_1^{15}} \left(\begin{array}{l} -429C_2^7 - C_1^6 C_8 + 9C_1^5 C_2 C_7 + 9C_1^5 C_3 C_6 + 9C_1^5 C_4 C_5 - 45C_1^4 C_2^2 C_6 - 45C_1^4 C_2 C_4^2 - 45C_1^4 C_3^2 C_4 - \\ - 90C_1^4 C_2 C_3 C_5 + 165C_1^3 C_2^2 C_3^2 + 165C_1^3 C_2^3 C_5 + 495C_1^3 C_2^2 C_3 C_4 - 495C_1^3 C_2^4 C_4 - 990C_1^2 C_2^3 C_3^2 + 1287C_1^2 C_2^2 C_3 \end{array} \right) \\ C_9 &= \frac{1}{C_1^{17}} \left(\begin{array}{l} 1430C_2^8 - C_1^7 C_9 + 5C_1^6 C_5^2 + 10C_1^6 C_3 C_7 + 10C_1^6 C_4 C_6 + 10C_1^6 C_2 C_8 - 55C_1^5 C_2^2 C_7 - 55C_1^5 C_3^2 C_5 - \\ - 55C_1^5 C_3 C_4^2 - 110C_1^5 C_2 C_4 C_5 - 110C_1^5 C_2 C_3 C_6 + 55C_1^4 C_3^4 + 220C_1^4 C_2^3 C_6 + 330C_1^4 C_2^2 C_4^2 + \\ + 660C_1^4 C_2 C_3^2 C_4 + 660C_1^4 C_2^2 C_3 C_5 - 715C_1^3 C_2^4 C_5 - 1430C_1^3 C_2^2 C_3^3 - 2860C_1^3 C_2^3 C_3 C_4 + \\ + 2002C_1^2 C_2^5 C_4 + 5005C_1^2 C_2^4 C_3^2 - 5005C_1^2 C_2^6 C_3 \end{array} \right) \\ C_{10} &= \frac{1}{C_1^{19}} \left(\begin{array}{l} -4862C_2^9 - C_1^8 C_{10} + 11C_1^7 C_2 C_9 + 11C_1^7 C_3 C_8 + 11C_1^7 C_4 C_7 + 11C_1^7 C_5 C_6 - 22C_1^6 C_4^3 - 66C_1^6 C_2 C_5^2 - \\ - 66C_1^6 C_2^2 C_8 - 66C_1^6 C_2^2 C_6 - 132C_1^6 C_2 C_4 C_6 - 132C_1^6 C_2 C_3 C_7 - 132C_1^6 C_3 C_4 C_5 + 286C_1^5 C_2^3 C_7 + \\ + 286C_1^5 C_3^3 C_4 + 858C_1^5 C_2^2 C_4 C_5 + 858C_1^5 C_2^2 C_3 C_6 + 858C_1^5 C_2 C_3^2 C_4 + 858C_1^5 C_2 C_3^2 C_5 - 1001C_1^4 C_2^4 C_6 - \\ - 1001C_1^4 C_2 C_3^4 - 2002C_1^4 C_2^3 C_4^2 + 4004C_1^4 C_2^3 C_3 C_5 - 6006C_1^4 C_2^2 C_3^2 C_4 + 3003C_1^4 C_2^2 C_5 + 10010C_1^3 C_2^3 C_3^3 + \\ + 15015C_1^3 C_2^4 C_3 C_4 - 24024C_1^2 C_2^5 C_3^2 - 8008C_1^2 C_2^6 C_4 + 19448C_1^2 C_2^7 C_3 \end{array} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Анализ коэффициентов приведенных выражений позволяет сделать следующие выводы:

- основные элементы выражений допускают возможность проследить некоторые закономерности;
- изучение этих закономерностей позволяет дать их алгоритмическое описание.

Используя полученное нами алгоритмическое описание, убеждаемся в том, что оно работает.

Справедливость полученных результатов можно проверить путем решения прямой и обратной задач проекций. Уравнение также можно проверить с помощью сравнения метода рекуррентной функции и метода вычисления коэффициентов как производных от аналитической функции, описывающей данную проекцию.

Метод рекуррентной функции заключается в том, чтобы вычислить величины прямых алгоритмов с помощью проекции Ламберта и подставить их вместо обратных алгоритмов для проекции Гаусса или Ресселя без тригонометрических функций. Таким образом, значение числителя должно совпасть с номером алгоритма [1]:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_1, \quad C_2 = \frac{-C_1}{2} (\sin B_0)^1, \quad C_3 = \frac{C_1}{6} (\sin B_0)^2, \quad C_4 = \frac{-C_1}{24} (\sin B_0)^3, \quad C_5 = \frac{C_1}{120} (\sin B_0)^4 \\ C_6 &= \frac{1}{C_1^9} \left(14C_2^4 - C_1^3 C_3^2 + 3C_1^2 C_3^2 + 6C_1^2 C_2 C_4 - 21C_1 C_2^2 C_3 \right) \\ C_7 &= \frac{1}{C_1^9} \left(\frac{14C_1^4}{16} - \frac{C_1^4}{120} + \frac{3C_1^4}{36} + \frac{6C_1^4}{48} - \frac{21C_1^4}{24} \right) = \frac{1}{C_1^5 \cdot 5}. \end{aligned}$$

Из нового уравнения и его выражений контроль произведен до 12 степени, при этом обратные алгоритмы показаны в следующих видах:

- прямые алгоритмы – до одиннадцатой и двенадцатой степени, алгоритмы получены по методу дифференцирования [3], при этом в коэффициентах C_6 отброшен член с множителем η^6 , а в коэффициентах $C_7 - C_{12}$ – с множителем η^4 :

$$C_{11} = \frac{C_1}{39916800} \cos^{10} B_0 \left(\begin{array}{l} 1073517 \tan^2 B_0 - 50521 - 1949762 \tan^4 B_0 + \tan^{10} B_0 - 14757 \tan^8 B_0 + \\ + 540242 \tan^6 B_0 - 17594876 \tan^8 B_0 - 43255806 \eta^2 \tan^4 B_0 - 663061 \eta^2 + \\ + 18928316 \eta^2 \tan^6 B_0 - 1205941 \eta^2 \tan^8 B_0. \end{array} \right)$$

$$C_{12} = \frac{C_1}{479001600} \sin B_0 \cos^{10} B_0 \left(\begin{array}{l} 2702765 - 17460701 \tan^2 B_0 - 189410408 \eta^2 \tan^2 B_0 - \tan^{10} B_0 + 16889786 \tan^4 B_0 + \\ + 11272037 \eta^2 + 517812174 \eta^2 \tan^4 B_0 + 52828909 \tan^8 B_0 - 143578274 \tan^6 B_0 + \\ + 41248981 \eta^2 \tan^8 B_0 - 285183772 \eta^2 \tan^6 B_0. \end{array} \right)$$

- обратные алгоритмы: одиннадцатый и двенадцатый члены алгоритма получены по новому закону:

$$C'_{11} = \frac{1}{C_1^{21}} \left\{ \begin{array}{l} 16796C_2^{10} - C_1^9C_{11} + 12C_1^8C_2C_{10} + 12C_1^8C_3C_9 + 12C_1^8C_4C_8 + 12C_1^8C_5C_7 + 6C_1^8C_6^2 - \\ - 156C_1^7C_2C_3C_8 - 156C_1^7C_2C_4C_7 - 156C_1^7C_2C_5C_6 - 156C_1^7C_3C_4C_6 - 78C_1^7C_2^2C_9 - \\ - 78C_1^7C_3^2C_7 - 78C_1^7C_4^2C_5 - 78C_1^7C_5^2C_3 + 2184C_1^6C_2C_3C_4C_5 + 1092C_1^6C_2^2C_3C_7 + \\ + 1092C_1^6C_2^2C_4C_6 + 1092C_1^6C_3^2C_6 + 364C_1^6C_2^3C_8 + 364C_1^6C_3^3C_5 + 364C_1^6C_4^3C_2 + \\ + 546C_1^6C_4^2C_3 + 546C_1^6C_5^2C_2 - 8190C_1^5C_2^2C_3C_4^2 - 8190C_1^5C_3^2C_5C_2^2 - 5460C_1^5C_2^3C_3C_6 - \\ - 5460C_1^5C_2^3C_4C_5 - 5460C_1^5C_3^3C_2C_4 - 1365C_1^5C_2^4C_7 - 273C_1^5C_3^5 + 43680C_1^4C_2^3C_4C_3^2 + \\ + 21840C_1^4C_2^4C_3C_5 + 4368C_1^4C_2^5C_6 + 10920C_1^4C_3^4C_2^2 + 10920C_1^4C_4^2C_2^4 - 61880C_1^3C_2^4C_3^3 - \\ - 74256C_1^3C_2^5C_3C_4 - 12376C_1^3C_2^6C_5 + 111384C_1^2C_2^5C_3^2 + 31824C_1^2C_2^7C_4 - 75582C_1C_2^8C_3. \end{array} \right\}$$

$$C'_{12} = \frac{1}{C_1^{23}} \left\{ \begin{array}{l} -58786C_2^{11} - C_1^{10}C_{12} + 13C_1^9C_2C_{11} + 13C_1^9C_3C_{10} + 13C_1^9C_4C_9 + 13C_1^9C_5C_8 + 13C_1^9C_6C_7 - 182C_1^8C_2C_3C_9 - \\ - 182C_1^8C_2C_4C_8 - 182C_1^8C_2C_5C_7 - 182C_1^8C_3C_4C_7 - 182C_1^8C_3C_5C_6 - 91C_1^8C_2^2C_2 - 91C_1^8C_2^2C_{10} - 91C_1^8C_3^2C_8 - \\ - 91C_1^8C_4^2C_6 - 91C_1^8C_5^2C_4 + 2730C_1^7C_2C_3C_4C_6 + 1365C_1^7C_2^2C_3C_8 + 1365C_1^7C_2^2C_4C_7 + 1365C_1^7C_2^2C_5C_6 + \\ + 1365C_1^7C_3^2C_4C_5 + 1365C_1^7C_4^2C_2C_5 + 1365C_1^7C_5^2C_3C_2 + 1365C_1^7C_3^2C_2C_7 + 455C_1^7C_2^3C_9 + 455C_1^7C_3^3C_6 + \\ + 455C_1^7C_4^3C_3 - 21840C_1^6C_2^2C_3C_4C_5 - 7280C_1^6C_2^3C_3C_7 - 7280C_1^6C_2^3C_4C_6 - 7280C_1^6C_3^2C_2C_5 - 3640C_1^6C_2^3C_5^2 - \\ - 3640C_1^6C_2^2C_3^2 - 1820C_1^6C_2^4C_8 - 1820C_1^6C_3^4C_4 - 10920C_1^6C_2^2C_3^2C_6 - 10920C_1^6C_3^2C_2C_4^2 + 61880C_1^5C_2^3C_3^2C_5 + \\ + 61880C_1^5C_2^3C_4^2C_3 + 61880C_1^5C_3^3C_2^2C_4 + 6188C_1^5C_2^5C_7 + 6188C_1^5C_3^5C_2 + 30940C_1^5C_2^4C_3C_6 + 30940C_1^5C_2^4C_4C_5 - \\ - 55692C_1^4C_2^5C_2^2 - 18564C_1^4C_2^6C_6 - 92820C_1^4C_2^3C_3^4 - 278460C_1^4C_2^4C_2^2C_4 - 111384C_1^4C_2^5C_3C_5 + \\ + 352716C_1^3C_2^6C_3C_4 + 352716C_1^3C_2^5C_3^3 + 50388C_1^3C_2^7C_5 - 125970C_1^2C_2^8C_4 - 503880C_1^2C_2^7C_3^2 + 293930C_1C_2^9C_3. \end{array} \right\}$$

Анализы обратных алгоритмов для больших зон в проекции Гаусса. Сегодня с новым уравнением и его новым выражением для обратных алгоритмов в проекциях Гаусса и Руссиля возможно создавать большие зоны с высокими точностями вычислений как для геоинформационных систем, так и для решения геодезических задач. Как известно, в любых геодезических проекциях значение масштаба и изометрическая широта изменяются в направлении на север или юг от экватора, поэтому местоположение изображаемой территории влияет на характеристики геодезических проекций. В связи с этим проанализируем три случая изображения территорий со средними широтами: на экваторе, на параллелях с широтами 29° и 44° . При этом сравним между собой по значениям преобразований координат в зависимости от ширин зон (рис. 1).

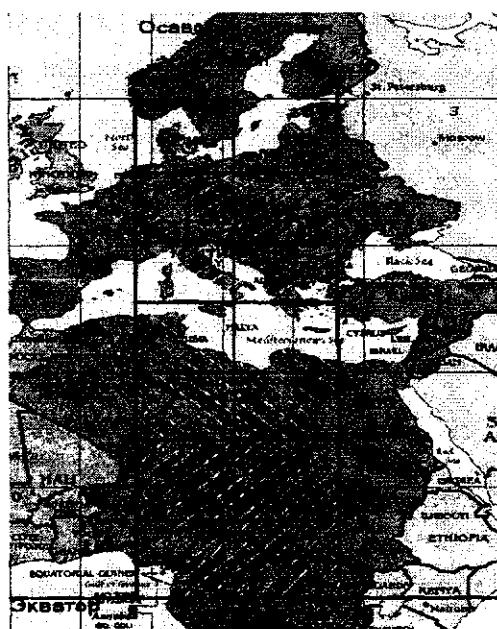


Рис. 1. Положение зон

Первое место занимают такие характеристики, как: главная широта $B_0 = 10^{\circ}00'00.0000''N$; долгота центрального меридиана $L_0 = 17^{\circ}15'00.0000''E$; ширина зоны в направлении меридиана 20° и в направлении параллели также 20° .

Второе место занимают следующие характеристики: главная широта $B_0 = 29^{\circ}00'00.0000''N$; долгота центрального меридиана $L_0 = 17^{\circ}15'00.0000''E$; ширина зоны в направлении меридиана 18° и в направлении параллели 20° .

Третье место занимают такие характеристики, как: главная широта $B_0 = 44^{\circ}00'00.0000''N$; долгота центрального меридиана $L_0 = 17^{\circ}15'00.0000''E$; ширина зоны в направлении меридиана 12° и в направлении параллели 20° .

В каждой зоне вычисляем прямоугольные координаты в крайних точках зоны по географическим координатам, взятым графически. Результаты отражены в таблице 1.

Таблица 1

Координаты	Первая зона, нижний край	Вторая зона, нижний край	Третья зона, нижний край
B_0	$10^{\circ}00'00.0000''N$	$29^{\circ}00'00.0000''N$	$44^{\circ}00'00.0000''N$
B	$00^{\circ}00'00.0000''N$	$20^{\circ}00'00.0000''N$	$38^{\circ}00'00.0000''N$
L	$27^{\circ}15'00.0000''E$	$27^{\circ}15'00.0000''E$	$27^{\circ}15'00.0000''E$
X	0.0611	2243948.0950	4255017.9632
Y	1118928.8122	1050585.6171	879399.8469
Обратный переход			
B	$00^{\circ}00'00.0000''N$	$20^{\circ}00'00.0001''N$	$38^{\circ}00'00.00014''N$
L	$27^{\circ}15'00.0000''E$	$27^{\circ}14'59.9998''E$	$27^{\circ}15'00.00007''E$
	Верхний край	Верхний край	Верхний край
B	$20^{\circ}00'00.0000''N$	$38^{\circ}00'00.0000''N$	$50^{\circ}00'00.0000''N$
L	$27^{\circ}15'00.0000''E$	$27^{\circ}15'00.0000''E$	$27^{\circ}15'00.0000''E$
X	2243948.0847	4255018.0983	5588956.4370
Y	1050585.5046	879399.9012	716311.8454
Обратный переход			
B	$20^{\circ}00'00.0000''N$	$37^{\circ}29'59.9999''N$	$50^{\circ}00'00.0000''N$
L	$27^{\circ}15'00.0000''E$	$27^{\circ}15'00.0000''E$	$27^{\circ}15'00.00016''E$

Точность вычисления расстояний на плоскости в условиях Ливии. Вычисление расстояний на плоскости по традиционным методам, основанным на UTM «Universal Transverse Mercator», LTM «Libyan Transverse Mercator»-проекциях, для Ливии при решении прямой задачи на плоскости не имеет достаточно высокой точности, если расстояния превышают 550000.00 м в проекции UTM на экваторе, и требуются сложные математические вычисления для учета искажений, чтобы получить географические координаты по прямоугольным координатам.

Ливия изображается в проекции UTM с 4-мя зонами с номерами: 32, 33, 34 и 35, при этом для всех зон используют значение масштаба, равное 0.9996, на центральном меридиане и на краю зоны масштаб равен единице. Ливийское государство использует проекции UTM для создания топографических карт мелких и средних масштабов.

Территория Ливии также изображается в проекции LTM с девятью зонами; здесь ширина каждой зоны составляет 2° , масштаб равен 0.9999 на центральном меридиане, а на краю зоны – единице.

Применением геодезических проекций с новыми выражениями для алгоритмов, предлагаемых нами, показало, что возможно вычислить расстояния до 2000000.000 м на плоскости электронной карты с высокой точностью без дополнительных математических обработок при переходе в геодезические координаты.

На рисунке 2 показаны шесть пунктов, для которых надо вычислить их прямоугольные координаты с помощью решения прямой задачи.

Используя алгоритмы, полученные нами, учитываем, что одна зона охватывает всю территорию Ливии, при этом вычисления производятся с высокой точностью. Зона имеет такие характеристики: ширина зоны в направлении меридиана 18° и начинается с $17^{\circ}00'00.0000''N$ до $35^{\circ}00'00.0000''N$; в направлении параллели ширина зоны 20° и начинается с $7^{\circ}15'00.0000''E$ до $27^{\circ}15'00.0000''E$ с широтой главной точки проекции $26^{\circ}30'00.0000''N$ и центральным меридианом с долготой $17^{\circ}15'00.0000''E$.

В данной задаче для шести пунктов по их геодезическим координатам сначала определим прямоугольные координаты этих пунктов, вычислим расстояния между ними и дирекционные углы. Для обратного перехода известны три пункта (A, B, C), расстояния между ними и дирекционные углы на другие

пункты. Требуется найти все координаты по методу решения прямой задачи на плоскости. Затем сравним с результатами, которые получили по геодезическим координатам. Результаты вычислений представлены в таблице 2.

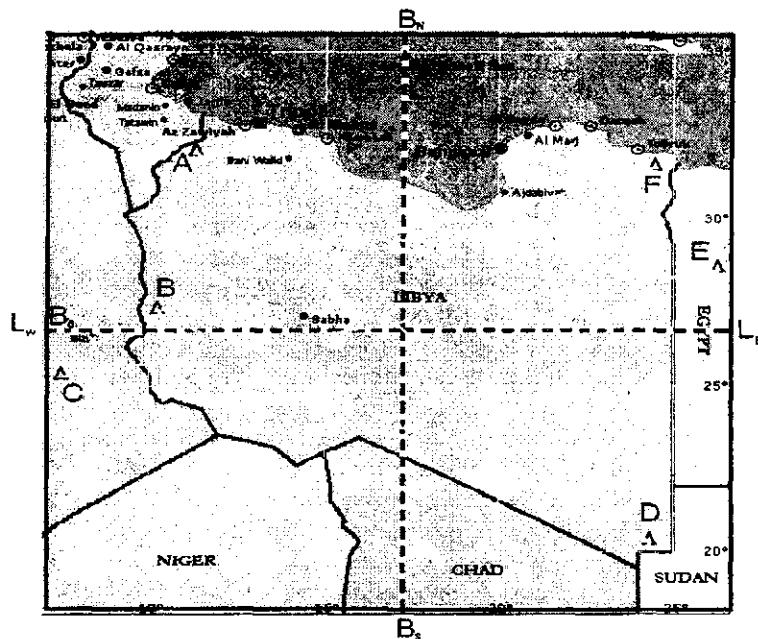


Рис. 2. Зона с 12-ю алгоритмами в проекции Меркатора

Таблица 2

№ пунктов	Геодезические координаты		Прямоугольные координаты	
			X	Y
A	B	32°00'00.0000"N	3556340.6085	-543738.0913
	L	11°30'00.0000"E		
B	B	27°00'00.0000"N	3006990.0070	-695807.8173
	L	10°15'00.0000"E		
C	B	25°15'00.0000"N	2826113.0902	-934486.8057
	L	08°00'00.0000"E		
D	B	20°15'00.0000"N	2256726.6012	759037.3345
	L	24°30'00.0000"E		
E	B	28°30'00.0000"N	3189014.7908	907770.6299
	L	26°30'00.0000"E		
F	B	32°00'00.0000"N	3566550.1845	709591.0919
	L	24°45'00.0000"E		

В таблице 3 вычислены расстояния и дирекционные углы по методу прямой задачи.

Таблица 3

Направление	Расстояние в метрах	Дирекционный угол α
AD	1840168.573	134°55'49.4268"
BF	1512697.487	068°17'24.0162"
BD	1636908.548	117°16'48.5418"
CE	1877660.8061	078°51'22.0601"

Далее вычисляем сначала прямоугольные координаты по методу обратной задачи на плоскости, после этого преобразуем в геодезические координаты для пунктов (D, F, E) из (B, C), результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

№ пунктов	Данные пунктов				Вычислены пункты, м			
	координаты		расстояние, м	дирекционные углы				
B	X	3006990.0070	1636908.548	$117^{\circ}16'48.5418''$	D	X	2256726.6012	
	Y	-543738.0913				Y	759037.3345	
B	X	3006990.0070	1512697.487	$068^{\circ}17'24.0162''$	F	X	3566550.1845	
	Y	-543738.0913				Y	709591.0919	
C	X	2826113.0902	1877660.8061	$078^{\circ}51'22.0601''$	E	X	3189014.7908	
	Y	-934486.8057				Y	907770.6299	
Переход от прямоугольных координат к геодезическим								
D	X	2256726.6012	B	$20^{\circ}15'00.0000''N$				
	Y	759037.3345	L	$24^{\circ}30'00.0000''E$				
F	X	3566550.1845	B	$32^{\circ}00'00.0000''N$				
	Y	709591.0919	L	$24^{\circ}45'00.0000''E$				
E	X	3189014.7908	B	$28^{\circ}30'00.0000''N$				
	Y	907770.6299	L	$26^{\circ}30'00.0000''E$				

Заключение. Доказано, что новые закономерности, установленные нами для получения обратных алгоритмов в проекциях Гаусса, Руссиля, а также в композиционных проекциях, работают верно. Установлена возможность получения из них новых алгоритмов до одиннадцатой и двенадцатой степеней разложения. Получено общее уравнение для обратных алгоритмов, применяемых в проекциях Гаусса Руссиля, а также для композиционных проекций; уравнение, при необходимости, может иметь вид бесконечного ряда с выражениями для коэффициентов, получаемых из отмеченной нами закономерности. Уравнение проверено двумя методами: на основе рекуррентных формул проекции Ламберта, а также методом решения прямой и обратной задачи проекций.

Для проекции Меркатора с двенадцатью коэффициентами для зоны шириной в 20° в двух направлениях точность вычисления координат до 0.001 м с главной параллелью $10^{\circ}00'00.0000''N$; в зоне с шириной 20° в направлении к параллели и 18° в направлении к меридиану точность вычисления координат до 0.002 м с главной параллелью $26^{\circ}30'00.0000''N$; в зоне с шириной 18° по направлению к параллели и 10° по направлению к меридиану точность вычисления координат до 0.009 м с главной параллелью $55^{\circ}00'00.0000''N$.

Вычисление расстояний до 2000000 м в геодезических проекциях на основе гармонического уравнения с 12 членами разложения производится с точностью до миллиметра.

В геодезических проекциях, на основе гармонического уравнения можно определить взаимное положение любых точек на проекции с помощью решения прямой задачи с точностью до миллиметра.

ЛИТЕРАТУРА

- Подшивалов, В.П. Теоретические основы формирования координатной основы для геоинформационных систем / В.П. Подшивалов. – Новополоцк: ПГУ, 1998.
- Акреш, М.С. Разработка алгоритма вычислений в проекции Меркатора применительно к территории Ливии / М.С. Акреш // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. F. Строительство. Прикладные науки. – № 12. – С. 136 – 140.
- Морозов, В.П. Курс сфероидической геодезии / В.П. Морозов. – М.: Недра, 1979.
- Бугаевский, Л.М. Математическая картография / Л.М. Бугаевский. – М.: Златоуст, 1998.
- Багратуни, Г.В. Курс сфероидической геодезии / Г.В. Багратуни. – М.: Геодез. лит., 1962.
- Соловьев, М.Д. Математическая картография / М.Д. Соловьев. – М.: Недра, 1969.
- Huryeu, Y. Autometed design of coordinate system for long linear obyектs / Y. Huryeu, V. Padshyvalau // SCAN – GIS-2007, Norway, P. 147 – 157.
- Рабинович, Б.Н. Практикум по высшей геодезии / Б.Н. Рабинович. – М.: Геодез. лит., 1961.
- Akresh, M. Transverse Mercator projection and conformal Lambert projection-comparative study for Tripoli city / M. Akresh, V. Padshyvalau // Junior researchers' conference PSU, 2009, Novopolotsk, P. 200 – 202.

Поступила 12.05.2009