

Количественные и качественные оценки исторических процессов в геодезии

Г.С. Тетерин* | М.Л. Синянская

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия
teterin-books@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена вопросам количественной и качественной оценки исторических процессов, а также в ней рассматриваются константы развития геодезии, полученные на основе расчетов логистического закона. С помощью констант определены границы точности каждой из четырех исторических эпох по всем основным видам измерений и определена периодичность развития геодезии по выведенным точкам предопределенности.

Ключевые слова

Логистический закон, параметры измерений, точность

Введение

История любой науки — это не только совокупность каких-либо фактов и событий, но и исторические процессы, связывающие эти события и факты в единое целое и отвечающие соответствующим законам и закономерностям.

Яркость и наибольшая убедительность описания такой истории определяется не только множеством исторических событий, но и количественными и качественными оценками соответствующих процессов. Точность и объективность такого представления истории науки становится более убедительной и создает более глубокую и полную картину развития науки в рамках исторического времени.

Структура исторического описания науки соотносится с методологической триадой (предмет науки, метод и объект приложения). Поэтому в соответствующих описаниях исторических процессов количественная оценка их развития должна находиться в рамках этой триады. С другой стороны, окружающее пространство, как объект приложения, существует в единстве со временем, т. е. объект приложения геодезии — это пространство-время. Естественно, что в оценке исторических процессов необходимо учитывать эти факторы.

* Corresponding author

Обсуждение

В решении задачи количественной оценки приобретают большое значение законы и закономерности. В статье (Тетерин, Синянская, 2015а) было дано описание такого закона и вытекающих из него закономерностей, позволяющих наиболее эффективно решать указанную проблему оценки. Рассматриваемый закон получил позднее название закон пространственно-временной предопределенности или закон логистического развития геодезии.

В каждой науке, в ее истории устанавливается критерий ее упорядочения. Таким критерием является периодизация, распределение всей истории на периоды, эпохи. Тем самым определяется закономерность каждой из них, отличия между собой и многое другое. Приобретается особый способ организации всей истории через ее составляющие. Этот же метод организации позволяет легче воспринять целое, всю историю и, соответственно, ее закономерности.

Основу систематизации истории геодезии составляет логистический закон (Тетерин, 2006; 2016). Этот закон (рис. 1) отвечает циклическому характеру развития геодезии.

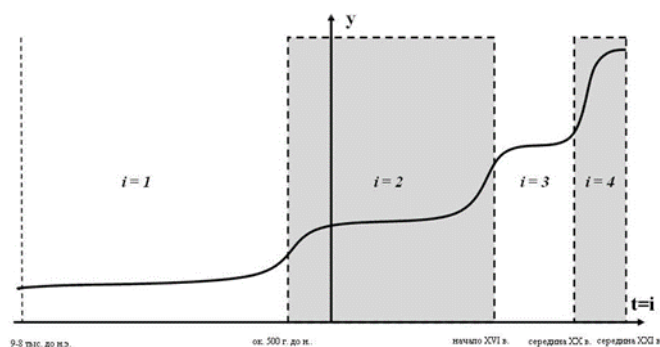


Рис. 1. Схема логистического закона развития геодезии

Математическая модель функциональной зависимости выражается формулой:

$$y_i = 10^{-2i}, \quad (1)$$

где y_i – функция, характеризующая точность геодезических измерений системы; i – нумерация (шкала) событий по оси исторического времени ($i = 1$ – землемерная эпоха; $i = 2$ – геометрическая (римско-эллинистическая); $i = 3$ – топографо-геодезическая; $i = 4$ – геоинформационная).

Для более конкретных расчетов используется формула:

$$y_{ij} = a_{kj} \cdot 10^{-2(i-k)} \quad (2)$$

где a – максимальное значение погрешности измерений в первой исторической эпохе для процесса измерений k ;

j – номер процесса ($j = 1$ (линейный); $j = 2$ (угловой); $j = 3$ (нивелирный));

a_{ij} – параметр точности измерений в процессе j в эпоху i , причем этот параметр является своего рода базовой постоянной, используемой в расчетах;

k - эпоха, для которой известна и задана a_{kj} ;

a - параметр в эпоху k_j ($k \in i$).

Величина a представляет собой известный параметр точности измерений в эпоху k процесса j . Этот параметр для данной эпохи k представляет постоянную величину, известную из каких-либо нормативов (инструкций) или практических измерений.

Такой параметр (погрешность измерений) для эпохи 3 ($i=3$) хорошо известен из соответствующих инструкций, нормативов и т. д. Если подставить такой параметр в исходную формулу (2), то можно вычислить значение y данного процесса измерений для всех других эпох, т. е. 1, 2 и 4. В этом случае формула примет вид:

$$y_{3j} = a_{3j} \cdot 10^{-2(i-3)} \quad (3)$$

Все расчеты по точности измерений для всех эпох i данного процесса j ниже выполнены по этой формуле. Известно, что погрешность угловых измерений в эпоху $i=3$ ($k=3$) равна $0,1''$. Таким образом параметр $a_{32}=0,1''$. Подставляя в формулу (2, 3) значение a_{32} , получим: $y_{32} = 0,1 \cdot 10^{-2(3-3)}=0,1''$. Для эпохи 2 получим: $y_{22} = 0,1 \cdot 10^{-2(2-3)} = 10''$. Аналогично, для эпохи 1 получим: $y_{12} = 0,1 \cdot 10^{-2(1-3)}=1000''$.

Используя заданную формулу и известные значения параметра a для третьей эпохи для трех исследуемых процессов, получим значения точности измерений по всем эпохам для указанных трех процессов. Результаты вычислений представлены в таблице 1 (Тетерин, Синянская, 2015b).

Таким образом формулы (1) - (3) позволяют производить расчеты по точности измерений для всех эпох и процессов. Эти формулы могут быть использованы для расчетов оценки каких-либо исторических процессов по известным параметрам, если будет задано какое-либо a_{kj} . Если a_{kj} характеризует уровень геометризованности или организованности в эпоху k на процессе j , то соответствующий уровень y_{ij} этих процессов можно определить по всем эпохам, т. е. определить уровень геометризованности или организованности для всех исторических эпох. В этом отношении проблемой является определение исходного базового значения a_{kj} .

Для оценки точности (погрешности) измерений в рамках i эпохи применяется формула:
 $y_i = \{10^{-2(i-1)} - 10^{-2i}\}$ (Тетерин, 2016).

Таблица 1. Точность измерений по историческим эпохам

Геодезические процессы	Эпохи			
	1	2	3	4
Линейные	1–10–2	10–2–10–4	10–4–10–6	10–6–10–8
Угловые	28–0,3°	17–0,2'	10–0,1"	0,1"–0,001"
Нивелирные	100 м – 1 м	100 см – 1 см	10 мм – 0,1 мм	0,1 мм – 0,001 мм

Таким образом, значения a_{kj} принимают следующий вид:

$$a_{3j} = \{a_{31}; a_{32}; a_{33}\} = \{10^{-6}; 0,1"; 0,1 \text{ мм}\}.$$

Приведенные в табл. 1 значения погрешностей получены согласно рассматриваемым логистическому закону и формуле (2). Соответствие этого закона действительной практике и точности измерений подтверждается только для третьей эпохи (см. табл. 1). Для проверки точности измерений в древнее время и их соответствия данным логистического закона были выполнены Синянской М.Л. расчеты (пробивка туннеля на о. Самос), в результате которых было получено, что эта точность вполне отвечает данным табл. 1 (вторая историческая эпоха – $i = 2$). По технологии геодезических работ предусматривался в плановом обосновании пробивки туннеля прямолинейно-прямоугольный ход. По расчетам получено, что точность трассирования (построения) прямой линии получилась равной 5', что вполне отвечает значениям закона (1). Кроме того, точность построения прямого угла при строительстве Гизехских пирамид достигала 1,5'. В тех же самых расчетах (о. Самос), точность нивелирования была равной средней квадратической погрешности на станции и равнялась 1–2 см, а точность нивелирования на 1 км хода составляла 10–20 см (Тетерин, Синянская, 2015b).

Имея в виду константу перехода между эпохами ($K = 10^2$), рассмотренную в работах (Тетерин, 2016; Тетерин, Синянская, 2015b), в итоге можем получить для всех четырех исторических эпох значения точности построения прямого угла $u_{пу}$, прямой линии $u_{пл}$ и нивелирования $u_{н}$:

$$u_{пу} = \{2,5^\circ; 1,5'; 0,9"; 0,01"\};$$

$$u_{пл} = \{8^\circ; 5'; 3"; 0,03"\};$$

$$u_{н} = \{10 \text{ м}; 10 \text{ см}; 1 \text{ мм}; 0,01 \text{ мм}\}.$$

Таким образом, фактическая точность измерений по всем историческим эпохам вполне

отвечает закону (1) –(2).

Каждая эпоха имела свою парадигму (табл. 2) и свое фундаментальное выражение в соответствующей системе измерений, технологии и теории. Следовательно, переход от одной исторической эпохи к другой означал смену систем измерений, технологий и теоретической основы. Т. е. повышение точности измерений на два порядка при переходе к новой эпохе обязательно сопровождалось формированием новых систем измерений, новой технологии и обновлением теории. В целом это характеризовалось формированием новой парадигмы.

Имея в виду все отмеченное, можем описать первую историческую эпоху, в которой только начиналось формирование геодезии и которая служила ее истоками, и определить ее как антропную. Это следует из того, что человек сам в то время являлся основой решения всех пространственно-временных задач на поверхности земли, пространственно-временной организации территорий, своей ойкумены. При этом ориентация в пространстве осуществлялась на основе двух принципов влияния (Тетерин, 2016): принципа «вертикаль-горизонталь» и «принципа четырех направлений». Основными составляющими этих принципов влияния являлись прямой угол и прямая линия. Эти геометрические построения могли выполняться только на основе тех возможностей человека, которые были заложены в него природой.

Вся организация пространства в древнее время заключалась в геометрических построениях его основных элементов, которыми были земельные угодья. Их упорядочение сводилось к построению системы межевых линий. В результате формировалась система разделения земельных угодий на прямоугольные участки (геометрическая основа земельного кадастра). Осуществлялось упорядочение земельных угодий по форме, размеру и пространственному положению. В этом заключалась организация земельного пространства, основу которой составляла система прямых межевых линий, проведенных под прямым углом. Проведение построения таких геометрических фигур происходило с учетом человеческих возможностей на основе его самодостаточности. В частности, построение прямых углов на местности выполнялось на основе «прямоугольности» его фигуры. Точность построения прямых углов и прямых линий, как отмечено выше, была порядка, $2,5^\circ$ и 8° (соответственно), а точность измерения линий (шагами) была не более 0,01. Таким образом, вся технология пространственно-геометрических построений осуществлялась древними людьми на антропной основе. Отсюда название этой эпохи – землемерная, а ее отличительная основа – антропная.

Вторая эпоха (геометрическая) отличалась появлением теории (практическая геометрия, планиметрия). Технология этой эпохи формировалась в виде построения прямолинейно-прямоугольных ходов и соответствующих фигур. В эту эпоху впервые созданы системы измерений: в линейных измерениях использовались мерные веревка и колесо, в угловых – землемерный крест и грома, в нивелирных – хоробата и ватерпас.

Третья эпоха, в отличии от двух предыдущих, являлась технической – формируется система технических измерительных приборов (теодолит, нивелир и т. д.), топографо-геодезическая технология, теоретическая основа в виде геодезии, состоящая из высшей, низшей и т. д.

Таблица 2. Парадигмы

№ п/п	Наименование	Длительность	Терминология	Школы	Пространство	Результаты геодезической деятельности, методы	Понимание
1	Землемерная (Месопотамия, Египет)	6000-8000 лет (с 8-до 1 тыс. до н.э.)	Землемерная	Писцовая	Полисы	Система межеваний, чертежи размежевания	Землемерное
2	Геометрическая (Греко-Римская)	Около 1600-1700 лет (до XVI-XVII вв.)	Геометрическая	Александрийский университет, школа агрименсоров	Империи (Римская, А. Македонского)	Города, каналы, дороги, географические карты, кадастр	Геометрическое
3	Топографо-геодезическая (Западно-Европейская)	Около 400 лет (с XVII в. до XX в.)	Топографо-геодезическая	Топографические училища, геодезические академии	Земной шар	Топографические карты, системы координат, геодезические сети	Топографо-геодезическое
4	Геоинформационная, глобальная	с XXIв.	Координатная, геопространственная	—	Глобальное, околосферное	Глобальные, общеземные СК, геопространственные базы данных	Координатно-геометрическое, геопространственное

В последней исторической эпохе, сейчас именуемой как геоинформационная, создается совокупность информационно-измерительных систем, соответствующие технологии (наземно-воздушная и наземно-космическая) и новые теоретические основы.

В каждой исторической эпохе формировались соответствующие парадигмы: землемерная, геометрическая, топографо-геодезическая и геоинформационная (табл. 2).

Точностную меру каждой из этих эпох, как и их длительность, определяет логистический закон развития геодезии. В работах (Тетерин, 2006; 2016) даются расчеты, связанные с проблемой периодизации геодезии. В результате этих расчетов длительность рассматриваемых эпох равна соответственно: 9–8 тысячелетий; 2 тысячелетия; 500 лет; 100 лет. В соответствии с этими расчетами истоки формирования геодезических знаний относятся к 9–8 тысячелетию до н. э., а конец четвертой (геоинформационной) эпохи к середине XXI в.

Среди фундаментальных констант развития геодезии имеет значение так называемая константа предопределенности или константа сжатия исторического времени. В литературе (Тетерин, Синянская, 2015а) эта константа именуется как коэффициент ускорения исторических событий или как коэффициент сжатия исторического времени.

Имея в виду логистический закон и его аналитическое выражение (1) и (2), определим длительность периода (эпохи) развития как ΔT . В то же время каждая эпоха представляется состоящей из двух частей: революционной и эволюционной. Длительность развития обозначим через Δt . Чтобы определить ΔT какой-либо эпохи достаточно определить Δt двух-трех соседних эпох.

На основе хронологии событий (Тетерин, Синянская, 2015а) определены революционные части второй, третьей и четвертой эпох, длительность которых получилась соответственно равной 1600; 500; 50 лет. С учетом этих данных длительность ΔT в целом второй и третьей эпох получилась равной 2000; 450 лет. На основе перечисленных значений можно установить следующие соотношения: $\alpha = \Delta T_1 / \Delta T_{(i+1)}$ и $\beta = \Delta t_i / \Delta t_{(i+1)}$. Подставляя вышеперечисленные значения ΔT_2 и ΔT_3 , а также Δt_2 , Δt_3 , Δt_4 , получим значения коэффициентов α и β равными 4,5 и 3,0.

Эти коэффициенты играют роль констант предопределенности развития геодезии в рамках исторического времени. Отсюда их наименование – константа предопределенности или константа сжатия исторического времени. Эти константы позволяют определить длительность первой и четвертой исторических эпох и соответственно их датировку. В итоге получаем, что первая историческая эпоха начинается с 9–8 тысячелетия до н. э., а четвертая эпоха заканчивается в середине XXI в.

Совокупность перечисленных констант развития геодезии соответствующих параметров (показателей) в соответствии с табл. 3–5 можно представить, как цифровую матрицу, позволяющую получить общесистемное и конкретно историческое понимание и представление геодезии. Одновременно такая матрица дает возможность понять механизмы и

законы развития геодезии.

Таблица 3. Точки предопределенности в геометрическую эпоху

Дата	Событие
V в. до н. э.	У древних греков окончательно сложилось представление о Земле как о шаре (Парменид)
V в. до н. э.	Строительство «царской дороги» Ахменидов (Персия) длиной 2,4 тыс. км (от Суз в Малую Азию)
IV в. до н. э.	Начало строительства акведуков
IV в. до н. э.	Первая теория движения планет (Евдокс Книдский)
IV в. до н. э.	Первое объяснение суточного вращения Земли (Гераклид)
Вторая половина IV в. до н. э.	Аристотель (384–322 гг. до н. э.) впервые в своей книге «Метафизика» ввел термин геодезия и определил сущность различий геометрии и геодезии
380 г. до н. э.	Первые эфемериды планет (клинописные тексты)
Ок. 360 г. до н. э.	Первый китайский звездный каталог
Ок. 360 г. до н. э.	Геоцентрическая система мира (Аристотель)
Ок. 300 г. до н. э.	«Начала» Евклида
IV–III вв. до н. э.	Установление размера Земли (Диккеарх Мессинский)
III в. до н. э.	Определение относительных размеров Земли, Луны, Солнца и относительных расстояний между ними (Аристарх Самосский)
240 г. до н. э.	Первое градусное определение Земли (Эратосфен, города Сиена и Александрия)
III–II вв. до н. э.	Методы центуриации и скамнции в римском земельном кадастре
II в. до н. э.	Гиппарх: открытие прецессии, каталоги звезд с указанием их звездных величин, географическая система координат, точные астрономические измерения
II в. до н. э.	Глобус Кратера из Малоса
II–I вв. до н. э.	Определение размеров Земли (Посидоний)
I в. до н. э.	Витрувий написал трактат «Десять книг об архитектуре», в котором дал описание геодезических инструментов и геодезических технологий, использовавшихся при изыскании и строительстве городов и различных сооружений (храмов, дворцов и т. п.)
I в. до н. э.	«Золотой миллиарий» – центр Римской империи
20 г. до н. э.	Географическая карта Римской империи (Агриппа)
I в.	Начало сферической тригонометрии (Менелай Александрийский)
I в.	Герон Александрийский и его труды «Метрика» и «Диоптра»

Таблица 4. Точки предопределенности в топографо-геодезическую эпоху

Дата	Событие
Начало XVI в.	Начало разработки и применения метода триангуляции
Начало XVI в.	Начало формирования метода топографической съемки
1502–1504 гг.	Первые использования масштаба при составлении плана (Леонардо да Винчи, г. Имола)
1513 г.	Разработан полиметр Мارتина Вельдземюллера
1528 г.	Издана работа Мюнстера, в которой он описал полярный метод
1540–1570 гг.	Введение масштабов на военных картах
1543 г.	Гелиоцентрическая система мира Коперника
1546 г.	Гемма Фризиус – первое описание метода триангуляции
Середина XVI в.	Порта – камера-обскура
1556 г.	Описание использования инструментов и методов в горных съемках
1560–1575 гг.	Якоб ван Дервентнер – графический метод триангуляции
1563 г.	Пухлер – метод трансверселей или диагональных шкал
1570 г.	Массовое использование масштабов
1571 г.	В «Пантометрии» впервые использовался термин теодолит
1596 г.	Издается труд Ратикуса по основам триангуляции.
Начало XVII в.	Английский астроном Гаскуань (1598–1658 гг.) заменил в квадрантах диоптры на зрительные трубы
Начало XVII в.	Самое раннее описание экера
1600 г.	Д. Чименти получил первую стереоскопическую пару рисунков
1603 г.	Шейнер создал прибор пантограф
1609 г.	Изобретение зрительной трубы
1611 г.	Клавиус преобразовал нониус в отчетное устройство – верньер
1611 г.	И. Преториусом (1537–1616 гг.) создана мензула. Описана в 1618 г. Д. Швентнером (1585–1636 гг.)
1614 г.	Непер разработал метод логарифмов
1615–1616 гг.	Градусные измерения Снеллиуса по методу триангуляции квадрантом с диоптрами
1624 г.	В. Шиккард в течении 11 лет создавал опорную геодезическую сеть для топографической карты Вюртемберга (в масштабе 1 : 130 000)
1633–1635 гг.	Градусные измерения Норвуда (графометр, стальные цепи)
1634 г.	Начальный меридиан о. Ферро (Ришелье)
1635–1636 гг.	Разработана прямоугольная система координат (П. Ферма, Р. Декарт)
1641 г.	Паскаль сконструировал механическую вычислительную машину

1665 г.	Ньютоном разработана теория всемирного тяготения
1666 г.	Шапоти (Франция) – использование цилиндрического уровня
1670 г.	Тевенот (Франция) – воздушный пузырек в уровне

Таблица 5. Точки предопределенности в геоинформационную эпоху

Дата	Событие
1951 г.	Высоты, отсчитываемые от квазигеоида, по предложению М. С. Молоденского, получили название нормальных
1956 г.	Под руководством А. Н. Лобанова разработан способ пространственной фототриангуляции с применением ЭВМ и стереокомпаратора
1957 г., 4 сентября	В СССР впервые в мире запущен искусственный спутник Земли
1958 г.	В системе Главного управления геодезии и картографии (ГУГК) приступили к использованию электронных вычислительных машин (ЭВМ) при уравнивании геодезических сетей
1960 г.	В Париже на 11 Генеральной ассамблее мер и весов принята единая международная система единиц и новое определение секунды
1961 г., 2 апреля	Ю. А. Гагарин (1934–1968) совершил первый полет вокруг Земли на космическом корабле «Восток-1».
1963 г.	Система координат 1963 года (СК-63)
1968 г.	В системе ГУГК на базе ЭВМ МА-220 создан первый вычислительный центр.
1968 г.	С территории СССР стартовала автоматическая межпланетная станция (АМС) «Зонд-5». Доставлены на Землю фотографии Луны и Земли; определена звездная величина Земли
1970 г.	Проведены гравиметрические измерения в Антарктиде.
1970 г., 17 ноября	Впервые в мире на Луну доставлен аппарат «Луноход-1»
1972 г., 17 августа	Было санкционировано решение о создании американской спутниковой системы GPS
1976 г., 15 сентября	Космонавтами В. Ф. Быковским и В. В. Аксеновым с борта космического корабля «Союз-22» многозональной фотокамерой МКФ-6 выполнена съемка земной поверхности
1982 г.	Начаты летные испытания навигационной системы ГЛОНАСС
1984 г.	Министерством обороны США введена всемирная система WGS-84
1985 г.	Используется космический и геодезический комплекс Гео-ИК. С помощью системы Гео-ИК в 1977; 1985 и 1990 гг. получены параметры Земли (ПЗ-77; ПЗ-85 и ПЗ-90); фундаментальные геодезические постоянные, характеристики геоцентрической системы координат, параметры фигуры и гравитационного поля Земли
1995 г.	Начато использование в гражданских целях система СК-95
1995 г., 14 декабря	Завершилось формирование системы ГЛОНАСС (24 спутника)

2000 г., 28 июля	Постановлением Правительства Российской Федерации № 568 введена новая модель Земли – «ПЗ-90»
2002 г.	Постановлением Правительства Российской Федерации в стране вместо СК-42 введены две системы координат: ПЗ-90 и СК-95

Заключение

В любой науке есть величины и параметры, которые объемно и убедительно характеризуют «поступь» науки на ее исторической дороге. В геодезии константой перехода от эпохи к эпохе является в некотором роде магическое число. Как только точность измерений переходит этот рубеж – количество переходит в качество: меняются системы измерений (коренным образом), соответственно меняется технология и вместе со всем этим меняется основа теории. Даже предмет геодезии и метод получают новое видение, понимание и информационное выражение. Не менее характерна и вторая константа – коэффициент или критерий сжатия исторического времени. Эти две константы открывают, кроме всего прочего, новые возможности направления развития и новое место и роль геодезии среди других наук.

Этот качественный переход к новой эпохе означает новый аспект эпохи в целом. Этот аспект может быть охарактеризован следующими названиями и наименованиями эпох: антропная, инструментальная, техническая, информационная. Геодезия прошла путь трех геометрий: сакральная, классическая, геометрия поверхностей и фигуры Земли, четырехмерная (пространственная).

Список литературы

Тетерин Г.Н., 2006. Тетерин Г. Н. Теория развития и метасистемное понимание геодезии. Новосибирск: Сибпринт, 2006. – 162 с.

Тетерин Г.Н., 2016. История геодезии (до XX в.) // Новосибирск: ООО «Альянс-Регион». - 302 с.

Тетерин Г.Н., Синянская М.Л., 2015а. Закон пространственно-временной предопределенности и датировка исторических событий и эпох // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – № 1. – С. 38-42.

Тетерин Г.Н., Синянская М.Л., 2015b. Константы и параметры развития геодезии // Геодезия и картография. – №6. – С. 58-62.

Abstract

The article is devoted to the issues of quantitative and qualitative assessment of historical processes, as well as constants of geodesy development obtained on the basis of logistics law calculations. With the help of constants, the limits of the accuracy of each of the four historical epochs for all the main types of measurements are determined and the frequency of geodesy development for the derived points of predestination is determined.

Keywords

logistic law, measurement parameters, accuracy

Abstrakt

Der Artikel widmet sich der quantitativen und qualitativen Bewertung historischer Prozesse sowie der auf der Grundlage von logistischen Berechnungen gewonnenen Konstanten der Geodäsieentwicklung. Mit Hilfe von Konstanten werden die Grenzen der Genauigkeit jeder der vier historischen Epochen für alle Haupttypen von Messungen bestimmt und die Häufigkeit der Geodäsieentwicklung für die abgeleiteten Prädestinationspunkte bestimmt.

Schlüsselwörter

Logistikgesetz, Messparameter, Genauigkeit