

**Логистический закон – основа систематизации геодезической науки****Г.Н. Тетерин (Новосибирск)**[teterin-books@yandex.ru](mailto:teterin-books@yandex.ru)***Annotation***

*The article is devoted to theoretical bases of logistic law of development of geodesy and special role in the regulation of surveying knowledge in terms of historical evolution and development of this knowledge and the systematization of geodetic science. The paper deals with solving of fundamental problem of periodization of geodesy, the dating its phases of development, and the accuracy of the calculations of historical events. The most important constants of development of geodesy are established: criterion (factor) of compression of historical time; the constant development of geodesy (constant transition between epochs); corridor the accuracy of geodetic measurements, builds, for each age period of development; the level of geometrization of each historical period and assessment its evolution.*

**Keywords:** the law, cycles, constant development, measurement error.

Рассматриваемый логистический закон развития геодезии был введен Тетериным Г. Н. в практику научных исследований по истории геодезии, по теории ее развития. Этот закон в его аналитическом выражении ( $y = 10^{-2i}$ ) был представлен в трех монографиях: «Теория развития и метасистемное понимание геодезии» (2006г.); «История геодезии (до XX в.)» (2008 г.); «Феномен и проблемы геодезии» (2009 г.) [ <http://istgeodez.com/>].

Были опубликованы достаточно разнообразные приложения этого закона к результатам исследования в теории развития геодезии и теории предопределенности, в частности [Тетерин 2015, 2015а, <http://istgeodez.com/>]. Тем не менее, какого-либо теоретического обоснования введенного аналитического выражения закона не давалось. В данной статье приводятся теоретические основы этого закона и связанные с ним вопросы организации и упорядочения системы геодезических знаний.

Предмет научного познания какого-либо явления постигается в анализе его

движения, развития. Если в этом развитии устанавливаются некие закономерности, то они существенно способствуют общей систематизации и упорядочению этого знания. Важнейшими формами его организации является определение циклов, периодов развития, в которых (внутри них) работают какие-то повторяющиеся механизмы. В научной литературе для описания общих процессов используются такие понятия как развитие по спирали, повторение развития на новом уровне и т. д. При этом в каждом цикле, периоде развития работают подчас одни и те же механизмы: накопление-разрушение, старение-обновление, переход количества в качество, эволюция-революция и т. д. [Капица 2010, Кун 2009].

В основу формирования рассматриваемого закона положены два условия:

- процесс развития геодезических измерений происходит циклично;
- в каждом цикле развитие происходит по формуле «эволюция-революция».

Эти два условия фактически определяют развитие геодезии на всем историческом интервале времени, включая первую половину XXI века.

Геодезия с древнейших времен характеризуется как измерительная система знаний. Предметом геодезии является геодезическая метрика (форма, размер, пространственное положение). Измерение и определение этой метрики составляет предметное существо геодезии. На протяжении всей ее истории возросло разнообразие и значимость теоретических и практических задач, решавшихся в различных сферах человеческой деятельности. В процессе эволюции и общего прогресса менялись системы измерений, технологии геодезических работ. Но, в конечном итоге, сущность прогресса в геодезии определялась точностью измерений. Изменение этой характеристики в рамках исторического времени происходило непрерывно и реализовывалось в двух взаимозависимых формах: возрастание со временем точности измерения и уменьшение погрешностей, допускаемых при измерениях.

Наиболее подходящей формой аналитического представления этих двух

процессов является степенная функция вида:

$$y = a^{bx}, \quad (1)$$

где  $y$  – функция, определяющая точность геодезических измерений;

$x$  – историческое время ( $x \geq 0$ );

$a, b$  – константы, при этом,  $a > 1$ ,  $b > 0$  или  $b < 0$ .

В данной системе координат  $(x, y)$  с аналитическим представлением (1) имеем две интерпретации. В случае  $b < 0$  график функции (1) представляется в виде кривой погрешностей, началом которой (при  $x = 0$ ) является точка  $(0, 1)$ .

Значение функции этой кривой убывает, а сама кривая асимптотически приближается к оси времени, оси абсцисс ( $y \rightarrow 0$ ). Во второй интерпретации при  $b > 0$  функция (1) и ее график представляет комплексную оценку точности геодезических измерений в рамках исторического времени. Началом графика кривой является та же точка  $(0, 1)$  и при увеличении  $x, y$  также возрастает. Линия  $y = 1$  является линией раздела двух интерпретаций. В дальнейшем для случая  $b < 0$  функция (1) будет записываться в виде:  $y = a^{-bx}$ . Таким образом, в системе координат  $(x, y)$  имеем две кривые – возрастающую и убывающую. Первая характеризует возрастание точности измерений в рамках исторического времени, вторая – снижение погрешности измерений с течением времени. Но рассматриваемые две кривые взаимозависимы и характеризуются одной и той же функцией (1), в которой меняется знак показателя степени.

На оси абсцисс  $x$  (историческое время) выделим точки  $x$ , равные значениям 1, 2, 3 и т. д. Эти точки и соответствующие интервалы (отрезки времени) будем определять как циклы развития. Следовательно, ось исторического времени представляется как совокупность циклов. Обозначим нумерацию этих циклов и соответствующих интервалов буквой  $i$ . Тогда последнее будет представляться рядом натуральных чисел, т. е.

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

С учетом всего отмеченного функция (1) может быть представлена как:

$$y = a^{bi} \quad (2)$$

Соответствие функции (2) действительному распределению точности измерения по оси времени будет определяться выбором констант **a** и **b**.

Чтобы охарактеризовать изменение точности измерений во времени определим соотношение между двумя соседними циклами функции (2). Тогда получим для  $y = a^{-bi}$ :

$$K = \frac{a^{-bi}}{a^{-b(i+1)}} = a^b \quad (3)$$

Для случая  $y = a^{bi}$ :

$$K = \frac{a^{b(i+1)}}{a^{bi}} = a^b \quad (4)$$

Таким образом, и в случае возрастающей кривой (точность измерений), и убывающей кривой (кривая погрешностей), переход от цикла к циклу характеризуется константой  $a^b$ . Назовем ее константой перехода или константой развития ( $K = a^b$ ).

Возникает проблема соотношения циклов в историческом времени с действительной фактической продолжительностью развития геодезии, выраженной в годах. Для решения этой проблемы, т. е. по существу проблемы периодизации развития геодезии полагаем, что в каждом цикле ( $\Delta i$ ) изменения функции  $y$  происходят в ином порядке, чем в целом в соответствии с (1) или (2). Внутри каждого цикла кривая развития представляется логистической S-образной кривой, в которой выделяются эволюционная и революционная составляющие [Капица 2010, Тетерин 2015, 2015a, <http://istgeodez.com/>]. Таким образом, развитие геодезии характеризуется, с одной стороны двумя кривыми (возрастания и убывания) в соответствии с формулами (1) и (2) – теоретические кривые развития, с другой стороны общий процесс изменения точности во времени характеризуется совокупностью циклических S-образных кривых. Следовательно, развитие геодезии реализуется, с одной стороны теоретической кривой, с другой – циклической. Первая из них является сглаживающей для второй. Рассматриваемая совокупность циклических кривых по форме образует общую ступенчатообразную кривую [Тетерин 2015, 2015a, <http://istgeodez.com/>].

Каждая ступень (S-образная кривая), как отмечалось, состоит из эволюционной и революционной частей. При этом есть два варианта формирования каждой ступени: «эволюционная + революционная» или «революционная + эволюционная». Каждая рассматриваемая ступень соответствует циклу развития или исторической эпохе, периоду развития. Чтобы найти длительность такой эпохи достаточно установить длительность, например, революционных частей нескольких смежных эпох. Такая работа была выполнена Синянской М. Л. на основании тщательного исследования хронологии общего и технологического развития геодезии и систем измерения [Тетерин 2015, 2015а, 2009, 2012]. В перечне хронологических событий, не одинаковых по значимости, были установлены так называемые точки предопределенности революционного развития геодезии. К ним относятся события, характеризующиеся открытиями, изобретениями, оказывавшими глубокое влияние, как на общую эволюцию геодезии, так и на развитие систем измерений и технологий. Совокупность таких точек в общей хронологии на каком-либо отрезке исторического времени определяет революционную составляющую соответствующей эпохи (цикла развития). В работах [Тетерин 2015, 2015а, <http://istgeodez.com/>] были четко установлены три революционных периода развития геодезии:

- 500 г. до н. э. – 100 г. н. э.;
- 1500 г. – 1670 г.;
- 1950 г. – 1990 г.

В результате была определена длительность двух исторических эпох – второй и третьей. Дальнейшими исследованиями, по соотношению длительностей исторических эпох, революционных и эволюционных частей, были установлены коэффициенты ускорения развития исторических событий или иначе коэффициенты сжатия исторического времени [Тетерин 2015, 2015а, <http://istgeodez.com/>]. Эти коэффициенты позволили определить длительность и датировку всех исторических эпох, начиная с первой и заканчивая последней – четвертой. Таким образом, были определены четыре цикла (периода, эпохи) как общего, так и технологического развития геодезии.

Все перечисленные эпохи отличны друг от друга ввиду происшедшего революционного обновления при переходе от одной к другой. По существу при таком обновлении в каждой эпохе формировалась новая парадигма, новая понятийно-терминологическая система знаний, с новыми измерительными устройствами, технологиями, теориями. Фактически каждый раз происходило формирование нового поколения систем измерений, технологий и их теоретических основ. Рассматриваемые парадигмы представлены в таблице 1.

Для того чтобы установить точность измерений по всему историческому времени и в каждой эпохе, из множества возможных вариантов выбора **a** и **b** были определены их значения в формулах (1) и (2) путем тщательного исследования и анализа точности геодезических измерений по рассматриваемым четырем эпохам. Подбор таких численных значений для констант **a** и **b** диктовался условиями удобства и эффективности расчетов в сфере анализа исторических событий, ретроспективы и перспективы развития геодезии, проведения разнообразных прогнозов. Геодезические измерения характеризуются в их обобщенном содержании погрешностями измерений в форме относительной ошибки. Анализ смены поколений систем и технологий измерений показал их различие в точности измерений на 2 порядка. Такая универсальная оценка наиболее выразительно определена для рассматриваемых четырех эпох. С учетом всего сказанного величины **a** и **b**, используемые в формулах (1) и (2), получили следующие значения:  $a = 10$ ,  $b = 2$ . В результате формулы (1) и (2) получают вид:

$$y = 10^{-2i} \quad (5)$$

или

$$y = 10^{2i} \quad (6)$$

Эти формулы соответствуют циклической кривой погрешностей (5) и кривой комплексного возрастания точности измерения в рамках исторического времени (6). При этом величина **i** определяет номер исторической эпохи (парадигмы) (табл.1).

В каждой эпохе точность измерений характеризуется величиной:

$$\Delta y = \{10^{-2(i-1)} - 10^{-2i}\} \quad (7)$$

Формула (7) по существу определяет коридор точности каждой эпохи. В соответствии с формулами (3), (4) константа перехода между циклами, константа развития будет иметь значение:

$$K = 10^2 \quad (8)$$

Эта константа устанавливает возрастание точности измерений на два порядка при переходе от одной эпохи к другой. В то же время эта константа характеризует пределы возрастания в рамках коридора точности в каждой эпохе.

Рассматриваемые формулы (1), (2), (5), (6) интерпретируются как законы развития геодезии. Они составляют фундамент, основу теории развития геодезии. Позволяют проводить разнообразные расчеты, в том числе прогнозные развития метасистемной геодезии. В отмеченных выше публикациях (статьи, монографии) приведены примеры различных расчетов.

Проводились тщательные исследования по апробации данного закона, в том числе определение фактических границ точностных изменений для каждой эпохи. В частности для первой и второй эпох определены уровни действительной точности на ряде исторических примеров [Синянская 2015, Тетерин 2015, 2015а,].

Результаты этих расчетов подтверждают справедливость закона развития геодезии (5), (6).

Для определения точности измерений по эпохам и процессам введено обобщение закона (1) в виде формулы:

$$y_{ij} = a_{ij} 10^{-2i}, \quad (9)$$

где  $a$  - какое-либо значение погрешности измерений в эпоху  $i$  на процессе измерений  $j$ ;  
 $j = 1, 2, 3$ , при этом  $j = 1$  определяет линейные измерения,  $j = 2$  – угловые,  $j = 3$  –

нивелирование.

В случае  $j = 2, j = 3$  определение величины  $u_{i,j}$  осуществляется соответственно в градусной и линейной (нивелирование) мерах. Величины этих погрешностей известны для третьей эпохи в рамках коридора точности  $(10^{-2(i-1)} - 10^{-2i})$ . В угловых измерениях величины  $a_{3,2}$  известны и равны (с учетом коридора точности)  $10'' - 0,1''$ . Для нивелирования  $a_{3,3}$  равны  $10\text{мм} - 0,1\text{мм}$ . Аналогичные значения  $a_{2,2}$  и  $a_{2,3}$  получены М.Л. Синянской при расчетах точности пробивки туннеля на острове Самос. С учетом константы развития (константы перехода между эпохами)  $K = 10^2$ , при наличии известных  $a_{i,j}$ , можно получить  $a_{i-1,j}$  или  $a_{i+1,j}$ , умножая заданное значение  $a$  соответственно на  $10^2$  или  $10^{-2}$ :

$$a_{i-m,j} = a_{i,j} 10^{2m} \quad (10)$$

или 
$$a_{i+m,j} = a_{i,j} 10^{-2m}, \quad (11)$$

где  $m = 1, 2, 3$ .

Полагая, что для третьей эпохи значения погрешностей измерений на трех исследуемых процессах известны, можно путем указанных вычислений (10), (11) определить погрешности линейных, угловых и нивелирных измерений для всех остальных эпох (табл. 2). В этой таблице заданы коридоры точности, т.е. верхний и нижний пределы точности для каждой эпохи и в каждом процессе.

Таблица 1. Парадигмы

№ п/п	Наименование эпохи	Длительность	Терминология	Школы	Пространство	Результаты геодезической деятельности, методы	Понимание
1	Землемерная (Месопотамия, Египет)	8000 лет (с 9 тыс. до н. э.)	Землемерная	Писцовая	Полисы	Система межеваний, чертежи размежевания	Землемерное
2	Геометрическая (Греко-Римская)	2000 лет (с 500 г. до н. э. по 1500 г.)	Геометрическая	Александрийский университет, школа агрименсоров	Империи (Римская, Македонского)	Геодезические работы и методы при строительстве городов, каналов, дорог, географических карт, в кадастре	Геометрическое
3	Топографо-геодезическая (Западно-Европейская)	450 лет (с 1500 г. по 1950 г.)	Топографо-геодезическая	Топографические училища, геодезические академии	Земной шар	Топографические карты, системы координат, геодезические сети	Топографо-геодезическое
4	Геоинформационная, глобальная	100 лет (с 1950 г. по 2050 г.)	Координатная, геопространственная	Средне-специальные и высшие учебные заведения	Глобальное, околоземное	Глобальные, общеземные системы координат, геопространственные базы данных	Координатно-геометрическое, геопространственное

Таблица 2. Точность измерений по историческим эпохам

Геодезические процессы	Эпохи			
	1	2	3	4
Линейные	$1 \cdot 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-6}$	$10^{-6} - 10^{-8}$
Угловые	$28^{\circ} - 0.3^{\circ}$	$17' - 0.2'$	$10'' - 0.1''$	$0.1'' - 0.001''$
Нивелирные	100м-1м	100см-1см	10мм-0.1мм	0.1мм-0.001мм

Переход к каждому новому циклу (эпохе) означает скачек в точности измерений на два порядка, а это в свою очередь определяет смену поколений систем измерений, технологий и соответствующих теоретических основ (табл. 3). Из этого следует также, что каждая система измерений и технология данного цикла имеют резервы точности в рамках константы развития.

Таблица 3. Поколения систем измерений и технологий

№ п/п	Эпохи, парадигмы, названия	Системы измерений	Технологии	Длительность
1	Землемерная	Антропные	Антропные	8000 лет (с 9 тыс. до н. э.)
2	Геометрическая	Простейшие механические устройства: мерная веревка, колесо, ватерпас, хоробата, диоптра	Прямолинейно-прямоугольная	2000 лет (с 500 г. до н. э. по 1500 г.)
3	Топографо-геодезическая	Оптико-механические: теодолиты, нивелиры, кипрегели и др.	Геодезическое (координатное) обеспечение, топографо-геодезические и инженерно-геодезические технологии	450 лет (с 1500 г. по 1950 г.)
4	Геоинформационная	Геоинформационные системы измерений, электронные тахеометры, цифровые нивелиры, лазерные наземные и воздушные сканеры, цифровые и электронные измерительные устройства	ГИС-технологии, дистанционное зондирование, технологии космического позиционирования и др.	100 лет (с 1950 г. по 2050 г.)

В тоже время в этой смене поколений систем измерений и технологий определяющую всевременную роль играют принципы влияния: принцип «вертикаль-горизонталь», принципы 4-х и 6-ти направлений и вытекающие из них принцип прямоугольности и координатный принцип.

Следует отметить, что все вышеперечисленное составляет основу прогнозирования в сфере систем измерений, технологий и теоретических основ. Если речь идет о точках предопределенности и о событиях, располагающихся внутри цикла развития, то их прогнозирование детализируется как выше приведенными формулами, так и соотношениями между эволюционной и революционной частями.

Если речь идет о какой-либо фигуре, геометрическом образе, его построении или измерении, то оценка этого процесса в других эпохах осуществляется по тем же

формулам (10), (11), например, построение прямой линии и прямого угла в эпоху  $i = 2$ , как было определено в работе [Синянская 2015], характеризовалось точностью соответственно  $5'$  и  $1,5'$ . В этом случае значение построения рассматриваемых элементов в других эпохах характеризуется:  $u_{\text{ПУ}} = \{2,5^\circ; 1,5'; 0,9''; 0,01''\}$ ;  $u_{\text{ПЛ}} = \{8^\circ; 5'; 3''; 0,03''\}$ . Приведенные значения  $a_{1,2}$  и  $a_{1,3}$  определяют точность построений и измерений в первой эпохе антропными методами. Эти же значения подтверждены и экспериментами, проведенными М.Л. Синянской.

В целом рассматриваемая константа является своего рода характеристикой уровня геометризации и координатизации каждой эпохи. В перечисленных выше монографиях геодезия определяется как наука о геометризации и координатизации объектов и явлений окружающего пространства.

Таким образом мы имеем в исторической ретро- и перспективе четыре поколения систем измерений и технологий. Конечно же, каждому этапу развития соответствует новый уровень содержания теоретической геодезии и организации пространства. В итоге формируется новая парадигма [Тетерин 2015, 2015а, 2009, 2012].

Совокупность проведенных исследований показывает эффективность и значимость рассматриваемого логистического закона развития геодезии. Результаты исследований, связанные с этим законом, существенно упорядочивают и систематизируют совокупность геодезических знаний, как прошлого, так и настоящего, позволяют оценить перспективу ближайшего будущего, по крайней мере, до середины XXI в.

### Литература

Капица С. П. «Парадоксы роста. Законы глобального развития человечества». - М.: Альпина нон-фикшн, 2010.- 80 с.

Кун Томас. Структура научных революций. – М.: АСТ, 2009. – 310 с.

Синянская, М. Л. Точность геодезических работ в древнее время (на примере пробивки туннеля на острове Самос) [Текст] / М. Л. Синянская // «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» XI Международный науч. конгр. «Геодезия, геоинформатика,

картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. Т.1. – Новосибирск: СГГА, 2015. – С. 40-45.

Тетерин, Г.Н. Закон пространственно-временной предопределенности и датировка исторических событий и эпох [Текст] / Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка – 2015. – С. 38-42.

Тетерин, Г.Н. Константы и параметры развития геодезии [Текст] / Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская // Геодезия и картография – 2015 (а). – С. 58-62.

Тетерин, Г.Н. [Текст] Биографический и хронологический справочник (Геодезия, до XX в.) / Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская // – 2009. – 516 с.

Тетерин, Г.Н. Биографический и хронологический справочник (Геодезия, картография – двадцатый век) [Текст] / Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская // Том II – 2012. – 592 с.

Электронный ресурс: <http://istgeodez.com/>

### **Аннотация**

*В статье даются теоретические и практические основы геодезии всех исторических эпох. Отмечается, что при каждой ее реинкарнации сохраняется ген предметной предопределенности развития геодезии. Отмечено, что в XX в. в геодезии утратились ее общие теоретические основы.*

*Предлагается в качестве научной основы геодезии нового этапа развития принять «теорию развития геодезии». Отмечено, что при формировании парадигмы геодезии начала XXI в. появились определенные трудности и проблемы понятийно-терминологического характера.*

**Ключевые слова:** парадигма, теория науки, эпохи.