

На правах рукописи

Синянская Мария Леонидовна



Разработка научно-методических основ  
технологического развития геодезии

25.00.32 – Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Новосибирск – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент  
Хорошилов Валерий Степанович.

Официальные оппоненты:

Пимшин Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», профессор кафедры строительных производств;

Азаров Борис Федотович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», зам. зав. кафедрой оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных» (г. Москва).

Защита состоится 28 марта 2019 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета Д 212.251.02 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <http://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/sinensky-maria/>

Автореферат разослан 4 февраля 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Аврунев Евгений Ильич

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.  
Подписано в печать 21.01.2019. Формат 60 × 84 1/16.  
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 7.  
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ  
630108, Новосибирск, Плахотного, 10.  
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ  
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы исследования.* Стратегия пространственного развития Российской Федерации (РФ) и программа «Цифровая экономика Российской Федерации» предусматривают глобальные перемены в пространственном развитии территорий и организации современного общества на основе актуальной геопространственной информации о процессах, явлениях и объектах инфраструктуры городов и территорий; при этом акцент делается на создании единого геопространства РФ для эффективного управления территориями. С данной точки зрения, понимание происходящих глобальных перемен требует создания научно-методических основ технологического развития геодезии, определяющих периоды и особенности обеспечения геопространственной информацией устойчивого управления территориями и развития общества. Под технологическим развитием геодезической науки следует понимать смену поколений систем измерений, технологий, методов и точности геодезических измерений.

На сегодняшний день нет целостного подхода к оценке эволюции развития геодезии как к сформированному научному направлению в связи с отсутствием упорядоченной системы научно-методических основ ее технологического развития; в связи с этим невозможно осуществить системный анализ геодезической науки для прогнозирования ее дальнейшего развития. Поэтому разработка структурированной системы технологического развития геодезии для полноценного анализа накопленной информации при формировании технологических циклов развития геодезической науки и прогнозирования ее дальнейшего развития представляет собой важный фактор в ее системном понимании при обеспечении геопространственной информацией устойчивого управления территориями и развитии общества. Вследствие данного обстоятельства разработка научно-методического обоснования системы принципов и критериев технологического развития геодезии является актуальной в эпоху технологического развития государства и реализации программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

Разработка базы биографических и хронологических данных для систематизации знаний на всех этапах технологического развития геодезии позволит на новой научной основе уточнять многие временные периоды развития геодезической науки, объяснять их хронологический порядок и устанавливать взаимосвязи в ходе ее становления и развития. Разработанные в рамках настоящих исследований научно-методические основы технологического развития геодезии представляют собой решение научно-технической задачи, имеющей важное значение как в области образования и практики геодезических работ, так и методической базы для предстоящих научных исследований.

*Степень разработанности проблемы.* Существенный вклад в формирование теоретической и методологической базы геодезической науки внесли: в области высшей геодезии – Большаков В. Д., Буланже Ю. Д., Бровар В. В., Дурнев А. И., Закатов П. С., Жонголович И. Д., Красовский Ф. Н., Изотов А. А., Маркузе Ю. И., Медведев П. А., Магницкий В. А., Молоденский М. С., Машимов М. М., Проворов К. Л., Пеллинен Л. П., Юркина М. И. и др.; в области прикладной геодезии – Глотов Г. Ф., Ключин Е. Б., Левчук Г. П., Лебедев Н. Н., Неумывакин Ю. К., Чеботарев А. С., Ямбаев Х. К.; в области аэрофототопографии и фотограмметрии – Алексапольский Н. М., Антипов И. Т., Дробышев Ф. В., Коншин М. Д., Лобанов А. Н., Романовский Г. В., Тюфлин Ю. С. и др.; в области картографии – Берлянт А. М., Вахрамеева Л. А., Каврайский В. В., Лютый А. А., Салищев К. А. и др.; в области геоинформационного моделирования – Карпик А. П., Лисицкий Д. В., Мазуров Б. Т., Тюфлин Ю. С., Гук А. П. и др.

Вопросы развития геодезии всегда соотносились с ее историей. Среди авторов отечественных трудов по истории геодезии необходимо отметить Кашина Л. А., Клименко А. В., Кусова В. С., Новокшанову-Соколовскую З. К., Постникова А. В., Тетерина Г. Н., Феля С. Е., Хренова Л. С., Шибанова Ф. А. и др.

*Целью исследования* является разработка научно-методических основ технологического развития геодезии, характеризующих целостность научных и методических знаний технологических циклов развития в области становления геодезической науки.

*Задачи исследования:*

- выполнить анализ и обосновать актуальность и новизну исследований;
- разработать и сформировать научно-методические основы технологического развития геодезии, характеризующие целостность научных представлений о ее технологическом развитии;
- разработать систему критериев, принципов и факторов, определяющих целостность и единство технологического развития геодезии;
- разработать алгоритм расчета длительности технологических эпох, даты их начала и завершения с целью периодизации развития геодезии;
- выявить методические особенности назначения точности геодезических измерений для каждой технологической эпохи с целью обоснования прогноза точности геодезических измерений (по процессам, системам измерений и технологиям);
- рассчитать необходимую точность плано-высотного обоснования для строительства сложнейших сооружений, построенных в древнее время с целью проверки расчетных данных и их соответствия данным логистического закона развития геодезии.

*Объект и предмет исследования.* Объектом исследования является процесс технологического развития геодезии. *Предметом* исследования являются научно-методические основы технологического развития геодезии.

*Научная новизна диссертационного исследования:*

- разработана система критериев, принципов и факторов технологического развития геодезии, составивших методологическую основу систематизации и упорядочения материалов по истории геодезии;
- обнаружена устойчивая закономерность на основе логистического закона развития, объясняющая технологическое развитие геодезии путем выявления определенных периодов и установления характерных дат развития геодезии;
- разработан порядок периодизации и датировки технологического развития геодезии с учетом установленного коэффициента сжатия исторического времени (критерия предопределенности);

– разработан порядок расчета точности измерений в древнее время, позволивший определить характеристики точности геодезических измерений в предшествующие и последующие технологические эпохи развития геодезии. Результаты расчетов явились условием апробации логистического закона и его применимости к описанию и пониманию технологического развития геодезии.

*Теоретическая и практическая значимость работы.*

*Теоретическая значимость* выполненного исследования заключается в формировании научно-методических основ технологического развития геодезии, характеризующих целостность научных представлений о ее технологическом развитии, объясняющих определенные закономерности ее развития путем выявления определенных периодов и установления характерных дат развития геодезии.

*Практическая значимость работы* заключается в том, что применение разработанной системы критериев, принципов и базы биографических и хронологических данных технологического развития геодезии позволяет систематизировать геодезические знания прошлого и настоящего, выполнить прогнозирование для будущих геодезических технологий и решить ряд методических вопросов в сфере геодезического образования. Создана и внедрена в образовательный процесс база биографических и хронологических данных по истории геодезии, что позволило упорядочить все технологические этапы развития геодезии для объективного и систематизированного познания и понимания технологического и общеисторического развития геодезии.

*Методология и методы исследования.* В диссертации использовались исторический подход и методы системного анализа исторических событий и технологических процессов, математические, статистические методы и методы теории погрешностей, а также современное программно-аппаратное обеспечение.

*Основные научные положения диссертации, выносимые на защиту:*

– разработанные и сформированные научно-методические основы технологического развития геодезии, характеризующие целостность научных представлений о ее технологическом развитии, являются базой для система-

тизации и упорядочения геодезических знаний прошлого и настоящего по истории геодезии;

– разработанная система критериев, принципов и факторов технологического развития геодезии, формирующих научно-методическую основу технологического развития геодезии, позволяет объяснить определенные закономерности ее развития путем выявления определенных периодов и установления характерных дат развития геодезии;

– обоснованный расчет точности геодезических измерений по всем технологическим эпохам на основе системы сформулированных критериев, принципов и факторов развития геодезии позволяет установить «константу развития» для прогнозных расчетов точности геодезических измерений.

*Соответствие диссертации паспорту научной специальности.* Диссертация соответствует областям исследования: 4 – Разработка новых принципов, методов, технических средств и технологий геодезических измерений для определения геометрических и физических параметров Земли, ее поверхности, объектов, явлений и процессов на ней, в том числе для производства наземных топографических съемок; 15 – Разработка научно-методических основ и принципов геодезического образования паспорта научной специальности 25.00.32 – Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России по техническим наукам.

*Степень достоверности и апробация результатов исследования.* Основные результаты исследования и основные положения диссертации докладывались, обсуждались и были одобрены на международных научных конгрессах «ГЕО-Сибирь» (2009–2011 гг., Новосибирск), «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (2012–2018 гг., Новосибирск).

Разработанная база биографических и хронологических данных используется в учебном процессе на кафедре космической и физической геодезии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» при изучении

дисциплины «История геодезии» бакалаврами, обучающимися по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование.

Составленный в ходе диссертационного исследования «Биографический и хронологический справочник» (в двух томах) внедрен в производственный процесс в ОАО «ЗапСибАГП» и применяется при проведении научных исследований на предприятии, что подтверждено соответствующим актом о внедрении.

*Публикации по теме диссертации.* Основные теоретические положения и результаты исследования представлены в 13 научных работах, шесть из которых входят в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук. Получено одно свидетельство государственной регистрации базы данных.

*Структура диссертации.* Общий объем диссертации составляет 124 страницы машинописного текста. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы из 108 наименований; содержит 10 таблиц, 22 рисунка, 2 приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Во введении* обоснован выбор темы диссертационного исследования и ее актуальность; определены цели и задачи исследования, предмет и объект исследования; сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту; отмечены научная новизна и практическая значимость; приведены основные научные и практические результаты.

*В первом разделе* диссертации в ходе выполненных автором исследований выявлены факторы предопределенности истории развития геодезии, характеризующие ее развитие и становление. По результатам воздействия отдельных факторов на развитие процессов и событий в области геодезии они разделены на три основные группы: системные факторы, методологические факторы и



факторы, определяющиеся принципами влияния (ориентации). На рисунке 1 представлена классификация факторов с позиций исторического подхода, позволяющего исследовать процессы зарождения, формирования и воздействия на развитие геодезической науки в хронологической последовательности.



Рисунок 1 – Структура научно-методической основы технологического развития геодезии

Общеизвестно, что процесс любого исследования начинается с обнаружения фактов. Далее идет процесс их накопления, формирования абстракций и последующее их превращение в ту или иную теорию. Разработка системы принципов и критериев, определяющих и формирующих прошлое и будущее

развития любого научного исследования, представляет собой научную основу данного исследования в рамках технологического развития геодезии. Обратная сторона этого действия – это методическая составляющая процесса развития. В результате образуются новые направления развития геодезии, появляются различные дисциплины, новые геометрические схемы и обоснование точности геодезических построений, новые средства и методы измерений. Это проявляется в процессе действий внутренних законов развития науки, а понимание этого процесса развития составляет основу технологического прогнозирования и дает возможность оценить развитие геодезической науки, что является важной научно-методической задачей в области геодезического образования.

В рамках исследований для формирования научно-методических основ технологического развития геодезии выделен важнейший системообразующий элемент – методологическая триада (предмет, метод, объект). В качестве предмета в процессе развития геодезии приняты: форма, размер, пространственное положение объектов и явлений, принимаемые также как *геодезическая метрика*. В рамках методологической триады для геометризации объектов и явлений окружающего мира выделены такие структурные элементы, как точки, линии, поверхности, прямой угол. Для более детального понимания геодезии в рамках выполненных исследований введены новые термины и дано определение геодезии как науки о *геометризации* и *координатизации* пространства. Под *геометризацией* понимается представление объектов и явлений пространства с помощью структурных элементов в виде геометрических моделей: графических, натуральных, цифровых, аналитических и т. д. При этом важнейшей функцией геодезии является геометрическая *организация* пространства, под которой следует понимать структурированное упорядочение элементов пространства по форме, размеру и пространственному положению, т. е. метрическая организация пространства, критерием которой является уровень (оценка) его координатизованности и геометризован-

ности (*критерий метрической организации пространства*). Дальнейшие исследования связаны с понятием технологического уклада.

Так, под *технологическим укладом* (цикл Кондратьева Н. Д.) представляется совокупность взаимосвязанных научно-технических направлений, выражающих ядро определенного этапа в развитии технической базы общества. В течение последних веков в истории технической эволюции прошло 5 волн и сложилось 5 технологических укладов. Технологический процесс развития геодезии связан с формированием на каждом историческом этапе развития собственной понятийно-терминологической базы (характеристика парадигмы). В области развития и становления геодезии можно выделить 4 парадигмы (таблица 1), т. е. совокупности научных достижений, признаваемых научным сообществом в тот или иной период времени и служащий основой и образцом научных исследований.

В теории геодезических измерений важнейшую роль играет их оценка, которая характеризуется погрешностью или точностью измерений. Закономерность изменения этих оценок в рамках исторического времени определяется с помощью степенной функции (предложено Тетериним Г. Н. и Синянской М. Л.):

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

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

$$a > 1;$$

$$b > 0 \text{ либо } b < 0.$$

В системе координат  $(x, y)$  график функции  $y$  определяется величиной и знаком коэффициента  $b$ . При  $b < 0$  график функции измерений представляется в виде кривой, проходящей через точку с координатами  $(0, 1)$  и стремящейся асимптотически к оси абсцисс (оси времени). Теоретически эта линия представляет собой кривую погрешностей геодезических измерений. В случае  $b > 0$  кривая характеризует точность геодезических измерений, проходит через точку  $(0; 1)$  и возрастает при увеличении  $x$ .

Таблица 1 – Парадигмы в процессе развития и становления геодезии

Наименование эпохи	Длительность	Терминология и понимание	Школы	Пространство	Результаты геодезической деятельности, методы	Системы геометризации и организации пространства
Землемерная эпоха (Месопотамия, Египет)	От 6 000 до 8 000 лет (с 9–8-го тыс. до 500 г. до н. э.)	Терминология трактовалась как «землемерная»	В основном, это «писцовая школа»	Полисы	Сформированная система межевания земель; чертежи размежевания	Созданы системы межевания земель, землеустройства и землеустройства
Геометрическая эпоха (греко-римский период)	Около 1 600–1 700 лет (до начала XVI в.)	Терминология трактовалась как «геометрическая»	Александрийский университет; имела школа агрименсоров	Римская империя (времена Александра Македонского)	Сформированы методы геодезических работ для строительства дорог, каналов, городов; создавались географические карты в кадастре	Существовала система «регулярной» организации земельного и городского пространства и др.
Топографо-геодезическая эпоха (западно-европейский период)	Просуществовала примерно около 400 лет (до середины XX в.)	Терминология интерпретировалась как «топографо-геодезическая»	Были созданы топографические училища и геодезические академии	Вся земля и окружающее пространство	Издавались топографические карты и планы; строились геодезические сети; создавались системы координат	Существовали системы геометризации региональных и государственных пространств и земного пространства; системы координатизации пространства
Геоинформационная эпоха, глобальная	Берет начало с середины XX в.	Терминология интерпретируется как координатная, геопространственная	Созданы средне-специальные и высшие учебные заведения	Глобальное околоземное пространство	Глобальные и общеземные системы координат, геопространственные базы данных	Системы геометризации и геоинформационного обеспечения всех видов используемых пространств

Точность измерений в этом случае является обратной величиной по отношению к функции и характеризует погрешность измерений. Ввиду цикличности технологического развития геодезии на оси времени размещается нумерация циклов, представленных на рисунке 2, обозначаемых как  $i$  ( $i = 1; 2; \dots; n$ ); историческое время представляется как совокупность циклов (циклических интервалов). Выражение степенной функции в этом случае принимает вид

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

Соотношение точности геодезических измерений в двух соседних циклах (предшествующего цикла и последующего и наоборот) дает величину  $y = a^b$ , которая характеризует повышение или понижение точности геодезических измерений. Назовем ее константой развития (перехода)  $K = a^b$ . В пределах каждого циклического интервала точность измерений изменяется в соответствии с логистической  $S$ -образной кривой, представляющей собой революционную и эволюционную части исторического развития. По своей форме обе эти кривые представляются ступенчатообразными линиями. Для удобства и эффективности расчетов, а также для анализа ретроспективы и перспективы технологического развития геодезии для функции (1) были приняты следующие значения:  $a = 10$ ,  $b = \pm 2$ . В процессе исследования смены поколений геодезических систем и технологий было выявлено их различие в точности измерений примерно на два порядка. Таким образом, выражение (2) для логистического закона развития геодезии имеет две формы:  $y = 10^{-2i}$  (кривая погрешностей) и  $y = 10^{2i}$  (кривая точности измерений). С учетом выбора  $a$  и  $b$  константа развития (перехода) получает значение  $K = 10^2$ .

Согласно сформулированной теории длинных волн Кондратьева Н. Д., научно-технический прогресс протекает волнообразно, с циклами, характеризующимися протяженностью примерно в 50 лет. Хронологические исследования технологического развития геодезии позволили определить, что всю эволюцию геодезии, т. е. ее технологическое развитие, можно разделить только на

четыре цикла (эпохи). В таблице 1 приведены основные характеристики четырех рассматриваемых эпох (циклов). В соответствии с константой  $K = 10^2$  точность геодезических измерений в каждую эпоху возрастает примерно на 2 порядка. Тогда, с учетом выражения (2) и принятых значений  $a$  и  $b$ , погрешность геодезических измерений в каждую эпоху будет определяться коридором точности измерений

$$y_i = \{10^{-2(i-1)} - 10^{-2i}\}. \quad (3)$$

Константа  $K$  и выражение (3) в своей совокупности определяют *критерий распределения точности по эпохам и внутри эпох*. Циклическая кривая точности измерений (с учетом  $i = 1; 2; 3; 4$ ) представлена на рисунке 2.

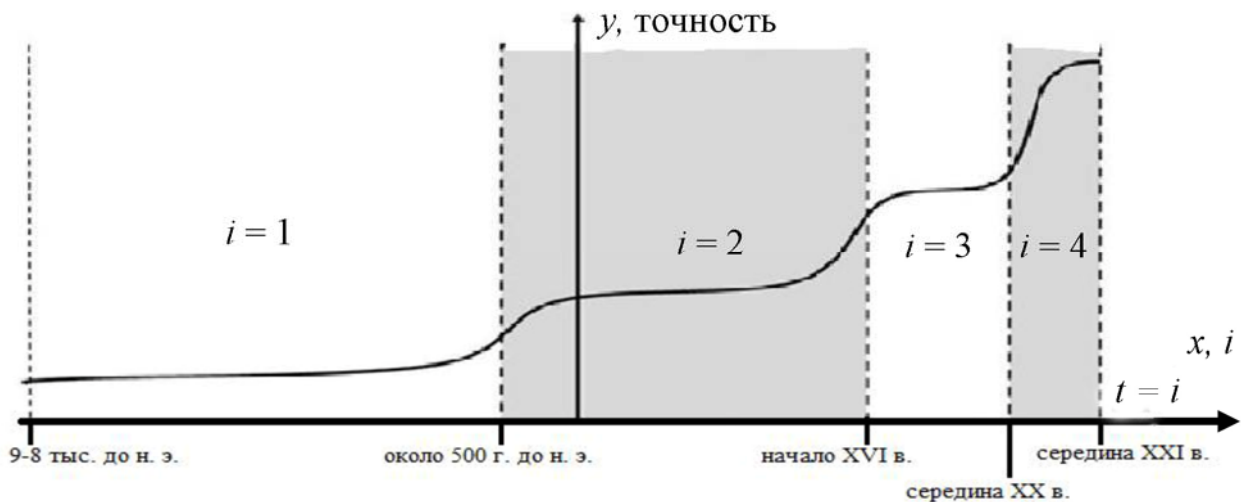


Рисунок 2 – Иллюстрация логистического закона развития геодезии

Существенное значение в вопросах исследования технологического развития геодезии имеет задача периодизации, т. е. установление продолжительности технологических эпох. С позиций исторического подхода, позволяющего установить в определенной хронологической последовательности условия возникновения, становления и развития геодезической науки, в диссертации предложен алгоритм расчета даты и скорости развития технологических событий (коэффициента сжатия исторического времени); для него введено понятие *критерия*

*рий предопределенности* технологического развития геодезии. Кроме того, для всех этапов развития геодезии введено понятие *точки предопределенности*, совокупность которых и определяет революционные части циклов развития. Для расчета длительности технологических эпох развития геодезии введем обозначения  $\Delta T_i$  – продолжительность  $i$ -й эпохи,  $\Delta t_i$  – продолжительность революционной части  $i$ -й эпохи и поясним ранее введенные обозначения:  $\alpha$  – сжатие исторического времени в целом,  $\beta$  – сжатие исторического времени для революционной части цикла.

С позиций *исторического подхода* были определены совокупности *точек предопределенности* и установлена длительность второй ( $\Delta T_2 = 2\,000$  лет) и третьей ( $\Delta T_3 = 450$  лет) эпох технологического развития геодезии, включая их революционную и эволюционную части. При этом коэффициент сжатия исторического времени может быть вычислен по формуле

$$\alpha_i = \Delta T_i / \Delta T_{i+1}. \quad (4)$$

В этом случае для второй эпохи технологического развития геодезии (для варианта цикла «революция + эволюция») коэффициент сжатия исторического времени будет равен  $\alpha = 4,4$ . Временной ряд продолжительности технологических эпох (в годах) составит  $\Delta T_i = \{8\,800; 2\,000; 450; 102\}$ . В соответствии с длительностью четвертой эпохи было выявлено, что ее окончание будет приходиться примерно на 2052 г.

На основе сопоставления данных «Биографического и хронологического справочника» (в двух томах) была установлена продолжительность революционной части второй, третьей и четвертой эпох развития геодезии: 600, 160 и 50 лет соответственно. Аналогично был рассчитан коэффициент сжатия исторического времени, как  $\beta_i = \{\Delta t_2 / \Delta t_3; \Delta t_3 / \Delta t_4\} = \{3,8; 3,2\}$ . В результате рассчитанный временной ряд революционных частей для четырех эпох развития геодезии составит  $\Delta t_i = \{2\,100; 600; 160; 50\}$ . Для каждой эпохи развития выполнен расчет продолжительности варианта цикла «эволюция + революция». При уста-

новленных значениях  $\Delta T_2' = 1\,560$  и  $\Delta T_3' = 330$  лет в соответствии с формулой (4) вычислен коэффициент  $\alpha_2' = 4,7$ . Тогда длительность четвертой эпохи составляет  $\Delta T_4' = 72$  года, длительность первой  $\Delta T_1' = 7\,300$  лет, а временной ряд для данного варианта развития геодезии составит  $\Delta T_i' = \{7\,300; 1\,560; 330; 72\}$ . В соответствии с продолжительностью четвертой эпохи определено, что ее окончание будет приходиться примерно на 2062 г.

Аналогично для второго варианта развития геодезии при известных значениях  $\Delta t_1' = 500$ ,  $\Delta t_2' = 160$  и  $\Delta t_3' = 50$  лет рассчитан средний коэффициент  $\beta_i'$ , равный 3,2. В результате была рассчитана длительность революционной части четвертой эпохи  $\Delta t_4' = 16$  лет и окончательно сформирован временной ряд  $\Delta t_i' = \{500; 160; 50; 16\}$ . В результате выполненных исследований определены значения  $\Delta T_i$ ,  $\Delta T_i'$  и  $\Delta t_i$ ,  $\Delta t_i'$  для всех технологических эпох, из которых следует, что первая эпоха начинается в 9–8 тыс. до н. э., а четвертая завершается в середине XXI в.

С использованием выражений логистического закона развития геодезии  $y = 10^{-2i}$  (кривая погрешностей) и  $y = 10^{2i}$  (кривая точности измерений) и с учетом значения константы перехода для различных эпох были получены значения погрешностей геодезических измерений, представленных в таблице 2. Так, например, согласно расчетным данным точности геодезических измерений при строительстве туннеля на о. Самос, были получены следующие величины: погрешность построения прямого угла составила 1,5'; погрешность построения прямой линии – 5'; погрешность нивелирования – от 10 до 20 см на километр хода.

Таблица 2 – Погрешности геодезических измерений в различные технологические эпохи

Геодезические процессы измерений	Погрешности измерений на эпоху				
	первая	вторая	третья	четвертая	пятая
Линейные (в относительной мере)	от 1 до $10^{-2}$	от $10^{-2}$ до $10^{-4}$	от $10^{-4}$ до $10^{-6}$	от $10^{-6}$ до $10^{-8}$	от $10^{-8}$ до $10^{-10}$
Угловые	от $28^\circ$ до $0,3^\circ$	от 17' до 0,2'	от 10" до 0,1"	от 0,1" до 0,001"	от 0,001" до 0,000 01"
Нивелирование	от 100 до 1 м	от 100 до 1 см	от 10 до 0,1 мм	от 0,1 до 0,001 мм	от 0,00 1 до 0,000 01 мм



Во втором разделе диссертации рассмотрены вопросы методического характера для установления механизмов, факторов и методов в процессе становления и развития геодезии. Процессы, происходящие в настоящее время в современном мире, – это глобализация и построение экономики, основанной на знаниях и формировании информационного общества. Взрывной, постоянно ускоряющийся рост объема разнородной информации, постоянно возникающие новые научные направления в различных областях знания, быстро изменяющиеся научные приоритеты – это характерные черты современного общества. И что примечательно, все это происходит в пределах одного человеческого поколения.

Развитие науки идет с непрерывным ускорением, характеризуется лавинообразным появлением новых знаний, и, как следствие этого, происходит становление новых научных специальностей, каждая из которых формирует принципиально новые научные проблемы. Расчленение науки на отдельные направления для новых исследований в большинстве случаев приводит к объединению ее отдельных направлений исследований, поэтому новые научные знания зарождаются, как правило, на стыке двух, трех направлений исследований и т. д. Именно на стыке наук, как правило, совершаются новые важнейшие открытия и ожидаются новые прорывы к новым знаниям. В процессе развития и становления геодезической науки можно проследить проявление действия внутренних законов развития, характерных для большинства научных направлений. Так, следствием проявления *закона дифференциации* – процесса дальнейшего углубления познания и освоения абсолютно новых, не известных ранее знаний – является деление уже сформированных, достаточно устоявшихся дисциплин на все более специальные области знания, которые уже самостоятельно формируют свои собственные методы исследования, изучают свои объекты и т. д. Например, в области геодезической науки к середине XX в. сложились следующие направления деятельности: геодезия, фотограмметрия, картография, высшая геодезия и инженерная геодезия, каждое из которых имело конкретный предмет и задачи исследований. В то же время синтез знаний ведет

к укрупнению науки, что является отображением действия *закона интеграции*. В соответствии с процессом развития науки каждая новая, более обширная область теоретических знаний обязана содержать в себе часть предшествующих, т. е. проверенных практикой как частный случай, а это результат действия и проявления в полной мере *закона соответствия*. Но сам процесс накопления знаний неизбежно ведет к единой линии необратимого и поступательного развития. Ведь накопленные систематизированные научные знания – это продукт деятельности целого ряда предыдущих поколений людей. При этом содержание накопленных знаний об окружающем нас мире получает дальнейшее развитие и обобщение, а именно – проявление действия *закона преемственности* знаний. А каждое новое открытие в науке симметрично и пропорционально обростаёт новыми знаниями, методами исследований, открытиями – все это является проявлением *закона кристаллизации* знаний. Результат проявления действия внутренних законов развития, представленных на рисунке 1, образует методическую основу для формирования различных геодезических дисциплин в процессе становления и развития геодезии: по родовому признаку (инженерная и высшая геодезия, фотограмметрия, топография, картография; дистанционное зондирование Земли и геопространственные данные); по смежному признаку (геодезическое инструментоведение, геодинамика, оптическое и оптико-электронное приборостроение и т. д.); стыковых дисциплин, изучающих Землю (физика Земли, геофизика, геоморфология и др.). И, как итог, все геодезические дисциплины, связанные с изучением нашей Земли, формируют геопространственную информацию о границах и пределах ее поступательного развития для устойчивого управления территориями и развития общества.

Применительно к каждой технологической эпохе можно выделить три метода (принципа) влияния на технологию и системы геодезических измерений. В своей совокупности они составляют методологическую основу геодезических измерений и в целом определенной технологии. Принцип *вертикаль-горизонталь (ПВГ)* – природного происхождения, принцип *четырёх и шести направлений*

(П4Н, П6Н) – антропоного. Рассматриваемые принципы влияния формируют цивилизационные принципы: *прямоугольности и координатный принцип*. Так, в таблице 3 представлены области применения *прямого угла* и реализация принципа *прямоугольности* в процессе технологического развития геодезии.

Таблица 3 – Области применения прямого угла и реализация принципа прямоугольности в процессе технологического развития геодезии

Название областей применения	Области применения
Геодезические инструменты	В основе конструкции геодезических инструментов реализованы отдельные оси разной направленности и плоскости, взаимно перпендикулярные друг другу
Роль прямого угла в процессе реализации технологии геодезического обеспечения выполняемых работ	В качестве основы существующей (до середины 2-го тыс. до н. э.) технологии геодезического обеспечения при реализации различных инженерных задач являлся прямолинейно-прямоугольный ход. За его структурную основу были приняты прямой угол и прямая линия
Роль прямого угла в реализации геометрических построений на земле	В процессе геометрических построений для инженерного и храмового строительства использовались прямоугольные фигуры; осуществлялась ориентация всех построений в пространстве и времени
Роль прямого угла в реализации задач тригонометрии	Геометрической интерпретацией для тригонометрических функций являлся прямоугольный треугольник, образованный в произвольной четверти окружности единичного радиуса
Прямой угол в реализации систем координат ( <i>координатизация пространства</i> )	За основу прямоугольной системы координат принимался прямой угол; а при построении прямоугольных систем координат выполнялось их ориентирование в пространстве и времени

Создание и разработка электронных тахеометров и систем глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС в полной мере позволили реализовать *координатный принцип*, а образованные в процессе технологического развития геодезии новые направления развития геодезической науки, новые геометрические схемы геодезических построений явились основой для реализации и конструирования новой геодезической техники при переходе от одной эпохи к другой. Понимание этого процесса развития составляет основу технологического прогнозирования и дает возможность оценить развитие геодезической науки как с научной, так и с методической точек зрения.

В третьем разделе диссертации рассмотрены вопросы апробации логистического закона развития геодезии для реализации различных схем геодезического обоснования и расчета точности геодезических работ. Для решения данной задачи автором была рассчитана точность геодезического обоснования при проложении туннеля на острове Самос (530 г. до н. э.; длина 1 036 м).

На основании изучения исторических материалов при выборе геодезического обоснования были предложены пять групп схем реализации геодезических построений, которые представлены на рисунке 3. Качественные и количественные характеристики геодезических измерений в древнее время представлены в таблице 4. Схема проложения прямолинейно-прямоугольного хода представлена на рисунке 4. Автором была разработана возможная схема и методика восстановления геодезических данных выполнявшихся в ту эпоху нивелирных работ и проложения прямоугольно-прямолинейного хода.

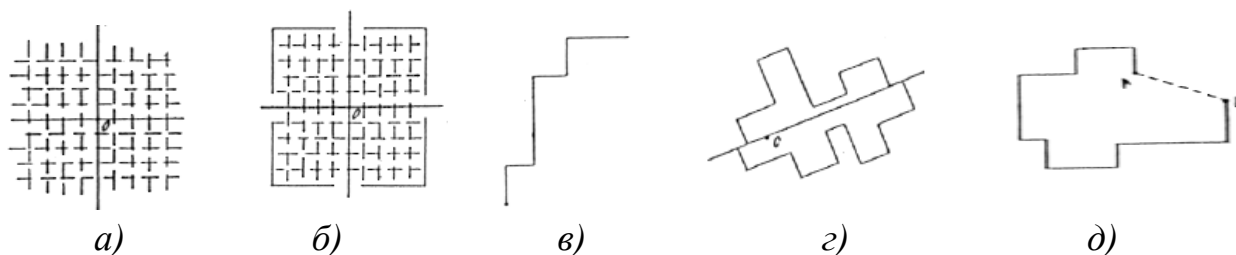


Рисунок 3 – Схемы геодезического обеспечения для: а) межевания земель; б) строительства городов; в) прокладки каналов; г) строительства храмовых комплексов; д) решения инженерных задач

Таблица 4 – Качественные и количественные характеристики геодезических измерений в древнее время

Устройства	Средства измерений	Погрешность геодезических работ
Углоизмерительные системы	«На глаз»	От нескольких градусов до 15'
Системы визирования	Диоптры	От 15' до 3'
Системы горизонтирования	С помощью воды и «на глаз»	Градусы
Системы для линейных измерений, отн. ошибка	Мерные шесты и веревки	От $10^{-2}$ до $10^{-4}$
Системы нивелирования, ошибка на 1 км хода	Вода (хоробата, диоптра)	0,1 м

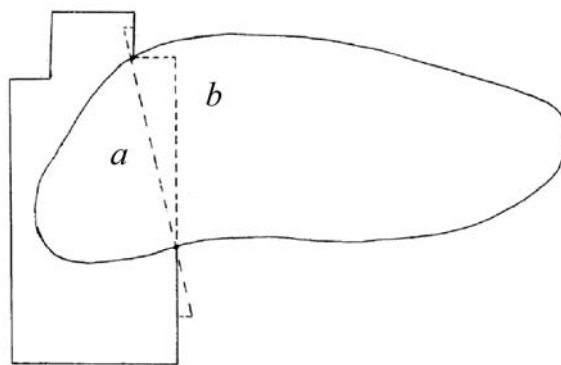


Рисунок 4 – Прямолинейно-прямоугольный ход  
(схема по Герону Александрийскому)

Представим общую погрешность нивелирования  $m_{\text{общ.}}$  как нестыковку двух встречных ходов при пробивке туннеля (равную 1 м), проложенных с противоположных сторон. Тогда суммарную погрешность  $m_{\text{общ.}}$  хода можно выразить через погрешность нивелирного хода между точками входа и выхода из туннеля  $m_{\text{н.}}$  и погрешность горизонтирования, полученную при пробивке туннеля  $m_{\text{т.}}$ .

Установленная в процессе выполненных расчетов ошибка пробивки туннеля в древнее время составляла 3', тогда, с учетом длины туннеля (1,5 км), расчетная величина  $m_{\text{общ.}}$  составила 10 см на 1 км нивелирного хода.

Для расчета точности планового обоснования туннеля в качестве исходной информации использовалась величина нестыковки туннеля (равная 6 м) между двумя встречными ходами, проложенными при пробивке туннеля, а также данные исследований о геодезических измерениях в древнее время (погрешность построения прямого угла составляла 1,5'; погрешность построения прямой линии – 5'; погрешность нивелирования – от 10 до 20 см на 1 км хода). В результате выполненных расчетов было установлено, что ошибка в трассировании сторон хода на станции лежит в интервале от 4,1' до 7,1'. Число сторон в ходе составило  $n = 30$ . Ошибка угловых измерений при пробивке туннеля оказалась близкой к 5'.

В диссертации также представлены результаты прогноза развития геодезии до середины XXI в., который формировался на основе действия логистического закона развития геодезии, системы разработанных критериев и принципов раз-

вития геодезии с учетом предмета, метода и объекта исследования в приложении к технологическому развитию геодезии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования были решены поставленные задачи и получены следующие основные итоги:

– разработаны и сформированы научно-методические основы технологического развития геодезии, характеризующие целостность научных представлений о ее технологическом развитии;

– разработана система критериев (предопределенности, распределения точности измерений, метрической организации пространства), принципов влияния (*прямоугольности и координатный*) и факторов, дающих объективное и целостное представление о технологическом развитии геодезии;

– обнаружена устойчивая закономерность на основе логистического закона развития, объясняющая технологическое развитие геодезии путем выявления определенных периодов и установления характерных дат развития геодезии;

– разработан порядок и алгоритм расчета длительности технологических эпох с целью определения даты начала и завершения каждой из этих эпох, а также для возможности периодизации науки геодезии, что составило целостное представление ее развития;

– разработан порядок определения точности геодезических измерений для каждой технологической эпохи развития геодезии; это позволило сформировать прогноз точности измерений (по процессам, системам измерений и технологиям) до середины XXI в. при формировании базы геодезических знаний, что позволяет широко использовать полученные результаты в образовании и научных исследованиях;

– рассчитана точность плано-высотного обоснования при строительстве сложнейших сооружений в древнее время, что позволило установить ее соответствие расчетным данным в соответствии с логистическим законом развития геодезии.

Разработанная база биографических и хронологических данных может быть рекомендована для дальнейшей систематизации знаний на всех этапах технологического развития геодезии для уточнения на новой научной основе временных периодов развития геодезической науки, объяснения их хронологического порядка и установления взаимосвязи в ходе ее становления и развития.

Перспективы дальнейших разработок по теме исследования будут иметь значение в области образования и практики геодезических работ, а также в качестве методической базы для предстоящих научных исследований.

#### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Синянская, М. Л. Банк данных второго поколения по истории геодезии и картографии [Текст] / М. Л. Синянская // Геодезия и картография. – 2012. – № 6. – С. 56–61.

2 Тетерин, Г. Н. Люди и события [Текст] / Г. Н. Тетерин, М. Л. Синянская // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 62–63.

3 Синянская, М. Л. Сакральная геометрия, египетский треугольник и геодезия [Текст] / М. Л. Синянская // Геодезия и картография. – 2013. – № 11. – С. 57–60.

4 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. – № 1. – С. 62–69.

5 Синянская, М. Л. Геодезия как целостная научная система и ее возрождение [Текст] / М. Л. Синянская // Геодезия и картография. – 2015. – № 4. – С. 48–52.

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

7 Свидетельство о государственной регистрации базы данных histbase

№ 2015621098 Российская Федерация [Текст] / М. Л. Синянская, Г. Н. Тетерин ; заявитель и правообладатель Сиб. гос. ун-т геосистем и технологий (RU) ; дата поступления 18 дек. 2014 г. ; дата регистрации 20 июня 2015 г.

8 Синянская, М. Л. Прямоугольность как геометрический фактор развития геодезии [Текст] / М. Л. Синянская // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 11–15.

9 Синянская, М. Л. Геном геодезии и факторы предопределенности [Текст] / М. Л. Синянская // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 203–207.

10 Тетерин, Г. Н. Геометрическая концепция и теория развития (предопределенности) геодезии [Текст] : монография / Г. Н. Тетерин, М. Л. Синянская. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 239 с.

11 Синянская, М. Л. Логистический закон развития геодезии как пространственно-временная предопределенность [Текст] / М. Л. Синянская // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 54–63.

12 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 Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 40–45.

13 Тетерин, Г.Н. Сайт «История геодезии» на службе геодезического образования и науки – итоги работы за 2015-2016 гг. [Текст] / Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская // «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017». XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. Т.1. – С. 164-168.