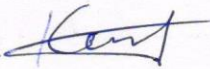


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

На правах рукописи

Синянская Мария Леонидовна 

Разработка научно-методических основ
технологического развития геодезии

25.00.32 – Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, доцент
Хорошилов Валерий Степанович

Новосибирск – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ, ПРИНЦИПОВ И ФАКТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИИ КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ДЛЯ СИСТЕМАТИЗАЦИИ И УПОРЯДОЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ НАУКИ	10
1.1 Аналитический анализ состояния проблемы развития и становления геодезической науки (система принципов, критериев и факторов развития) ..	10
1.2 Факторы предопределенности истории развития геодезии, определяющие ее развитие и становление	11
1.3 Формирование структуры технологического развития геодезии	18
1.4 Базовые понятия в теории технологического развития геодезии	27
1.5 Языковое описание эволюции развития геодезической науки	30
1.6 Категорийное понятие термина «критерий» для характеристики технологического развития геодезии	37
1.7 Выводы по первому разделу	38
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ..	39
2.1 Формирование методологической триады в геодезической науке	39
2.2 Координатизация окружающего пространства	55
2.3 Роль геодезии в организации окружающего пространства	62
2.4 Методическая составляющая технологического развития геодезии	67
2.5 Выводы по второму разделу	74
3 ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗЕМЛИ.....	75
3.1 Исторические сведения о формировании геодезии древнего времени	75
3.2 Схемы геодезического обоснования при решении различных инженерных задач в древнее время: землеустроительных, градостроительных,	

возведении храмов	81	
3.3 Геодезические измерительные устройства в древнее время	88	
3.4 Обоснование точности производства геодезических работ в древнее время (на примере строительства туннеля на о. Самос и при строительстве Гизехских пирамид)	91	
3.5 Выводы по третьему разделу	105	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	106	
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	108	
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное)	ТОЧКИ ПРЕДОПРЕДЕЛЕННОСТИ (ИЗОБРЕТЕНИЯ, ОТКРЫТИЯ) В РАЗЛИЧНЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ ЭПОХИ	118
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное)	СФОРМУЛИРОВАННЫЕ ПОСТУЛАТЫ ПО СТРУКТУРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ	121

ВВЕДЕНИЕ

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 систематизации 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.

1 ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ, ПРИНЦИПОВ И ФАКТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИИ КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ДЛЯ СИСТЕМАТИЗАЦИИ И УПОРЯДОЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ НАУКИ

1.1 Аналитический анализ состояния проблемы развития и становления геодезической науки (система принципов, критериев и факторов развития)

В развитии научного познания вопросы методологии играют наиболее важную роль, так как именно они характеризуют устоявшиеся и признанные научным сообществом основные понятия, принципы, категории, положения и т. д., присущие данному научному направлению развития науки. В течение XX века в геодезической науке произошли фундаментальные изменения (новые технологии, современное оборудование, программное обеспечение и новые технологические решения). Основные моменты этих изменений в процессе формирования геодезической науки представлены в томах биографического и хронологического справочников с участием автора [43; 56; 61].

Следует отметить, что в технической литературе вопросам системного представления геодезической науки и ее технологического развития до 70–80 гг. XX века уделялось недостаточное внимание. Кроме того, есть и еще одно подтверждение этому обстоятельству – это отсутствие в издаваемой геодезической литературе книг по общей и отечественной истории геодезии в целом; только начиная с 90-х гг. XX века появились первые фундаментальные работы (впервые) по истории геодезии (общей и отечественной) [48-53]. В их основу была положена так называемая геометрическая концепция (геометрическая концепция развития геодезии сводится к идее, что геодезия является наукой о геометрии объектов и явлений окружающего пространства), предложенная Г. Н. Тетериным [54]. Именно на базе геометрической концепции удалось впервые сформулировать теоретические основы технологического развития геодезии (ТРГ). В наиболее полном виде эти основы в предметном и

системном изложении представлены в работах [65; 68; 70].

Изложение данной теории в диссертационной работе является её логическим продолжением и расширением с привлечением дополнительных материалов и исследований, а современные работы с участием автора [41;67; 72] по общей и отечественной истории развития геодезии позволили сформулировать целостный исторический взгляд на развитие геодезии с целью построение научно-обоснованной основы технологического развития геодезии.

Все этапы история развития геодезии в процессе ее технологического развития тесно взаимоувязаны между собой [1; 8; 10; 11; 21; 22; 27]. Это свидетельствует о том, позволяет утверждать, что только на основе исторического подхода имеется объективная возможность выявить и установить механизмы технологического развития геодезии, законы развития и закономерности, периоды ее развития и этапы становления как самостоятельно сформированного направления науки [51;53].

1.2 Факторы предопределенности истории развития геодезии, определяющие направление ее развития и становления

Всесторонний анализ исторического развития геодезической науки позволяет выделить некую предопределенность в ее развитии. Первые теоретические проработки, соотносящиеся с категорийным понятием предопределенность развития – имеют место в работе [92]. Введено понятие термина «пространственно-временная предметная предопределенность», являющийся для всей геодезической науки системообразующим фактором и, который несет глубокую смысловую нагрузку. Именно с предопределенностью связаны критерии и факторы развития геодезической науки, определяющие направление и ход ее дальнейшего развития, длительность технологических эпох, даты их начала и завершения.

Дальнейшее расширение ТРГ за счет системы принципов, критериев и факторов технологического развития геодезии и некоторых аспектов

предопределенности [26; 104] дает более полную картину ее внутреннего содержания (рисунок 1), формируя ее научно-методические основы.



Рисунок 1 – Структура научно-методической основы технологического развития геодезии

В любой научной системе знаний есть некие источники и факторы, обеспечивающие определенную направленность развития, а иногда и

предопределенность. Особенно это очевидно для фундаментальных систем знаний древнего происхождения, включая и геодезическую науку как одну из многих подобных систем древнейших научных знаний [67; 76].

В рамках выполненных исследований при формировании научно-методических основ технологического развития геодезии выделены три основных направления: общесистемное, характеризующее общее развитие геодезии; методологическое (содержательное) и на основе факторов влияния (механизмы развития) [91; 92]. В соответствии с этими выше рассмотренными направлениями весь процесс технологического развития геодезии (реализуемый в рамках логистического закона развития [38; 65; 76]) представлен как *функция развития* в смысле точности и эффективности геодезических работ (см. подраздел 1.3).

Первое направление (геометрическая концепция) характеризует систему, сформированных в области геометризации окружающей среды положений, взглядов и принципов, имевших место в течении всего длительного исторического становления геодезической науки. Это понимание, включая использование аббревиатуры ТГК (теория геометризации и координатизации) и пронизывающее все этапы развития геодезии представлено в работе [64]; показаны все сферы приложения геодезии в решении научных и практических задач на протяжении всей истории развития геодезии. В представленной системе положений, взглядов и принципов они объединены единым для них общим названием достигнутых в процессе эволюции научных и профессиональных знаний – геометрия.

Еще в 1-м тысячелетии до н. э. Аристотель в своей работе [2] в рамках формирования общей классификации существовавших в то время наук представил сформированную систему основных категориальных понятий в области геодезии как практическая геометрия. Ну а в совокупности с теоретической геометрией данная система понятий уже с достаточной полнотой и всесторонностью характеризовала геодезию той исторической эпохи. Вследствие данного обстоятельства первые две парадигмы для первых двух начальных исторических этапов технологического развития геодезии именовались

соответственно, как землемерная и геометрическая [24]. Где-то к в середине 2-го тысячелетия сложилась новая – третья парадигма, которая трактовалась уже как топографо-геодезическая, и в границах которой ее геометрическая основа сохраняла свое постоянство в течение всех последних лет (примерно до середины XX в.). При этом, заложенная еще в древние времена геометрическая основа, сохранила свою сущность в самом названии – геометрия и практическая геометрия. Для более детального понимания геодезии на современном этапе в рамках выполненных исследований были 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 организацией пространства представляется упорядочение элементов пространства по форме, размеру, пространственному положению, т. е. метрическая организация пространства, критерием которой является уровень (оценка) его координатизированности и геометризованности (критерий метрической организации пространства).

Второе направление характеризуется как теория развития (методологическая триада) включает в себя содержательную часть, которая формирует границы и связи геодезии с другими науками. В рамках исследований для формирования научно-методических основ технологического развития геодезии выделен важнейший системно образующий элемент – методологическая триада (предмет, метод, объект). В качестве предмета в процессе развития и становления геодезии приняты: форма, размер, пространственное положение объектов и явлений, понимаемые также как геодезическая метрика. В рамках методологической триады [67] для геометризации объектов и явлений окружающего мира выделены такие геоструктурные элементы (ГСЭ) как: точки, линии, поверхности, прямой угол. Эти четыре составляющих ГСЭ создают условия для геометризации окружающего пространства и создания в нем

вторичной среды. Так, например, в работах с участием автора [58, 66] представлены результаты исследований, где с помощью ГСЭ характеризуются все изменения содержания геодезии по эпохам (на протяжении всей истории, включая четвертую парадигму).

Методологическая триада (предмет, метод, объект) и ГСЭ характеризуются в нашем понимании как важнейшие (системообразующие) составные элементы, которые на предметном уровне позволяют интерпретировать геодезическую науку в плане ее исторического развития. При этом сама геодезическая наука в своем изложении получает целостность, которая вносит ясность в представлении о геодезии в прошлом, настоящем и дает понятную перспективу развития, что позволяет сформулировать законы эволюции ее становления.

Третье направление (механизмы развития) – это группа факторов, которые влияют на процессы самого развития. Антропные факторы, связанные с фигурой человека, формируют координатный принцип; природные – формируют принципы влияния и, наконец, цивилизационные факторы, соотносятся с всесторонним влиянием и применением принципа прямоугольности при формировании среды обитания определенной цивилизации (рисунок 2).

Первые два принципа влияния были предложены и всесторонне рассмотрены в работах с участием автора [66; 67; 69; 70]. В случае формирования цивилизационного фактора в наибольшей степени проявился такой системообразующий элемент (феномен) как прямой угол, роль которого в процессе становления и развития геодезии (как геометрической системы знаний) представляется нам как роль важнейшего структурного элемента в развитии всей цивилизации.

Два «принципа влияния», которые одновременно могут быть отнесены как к природным, так и к антропным факторам с необходимой полнотой и ясностью представлены в работах с участием автора [69; 71; 81]. Первый из этих двух принципов – это принцип «вертикаль-горизонталь» (ПВГ), относящийся к природному происхождению; второй – принцип «4-х направлений» (П4Н) – является проявлением природного и антропного характера.

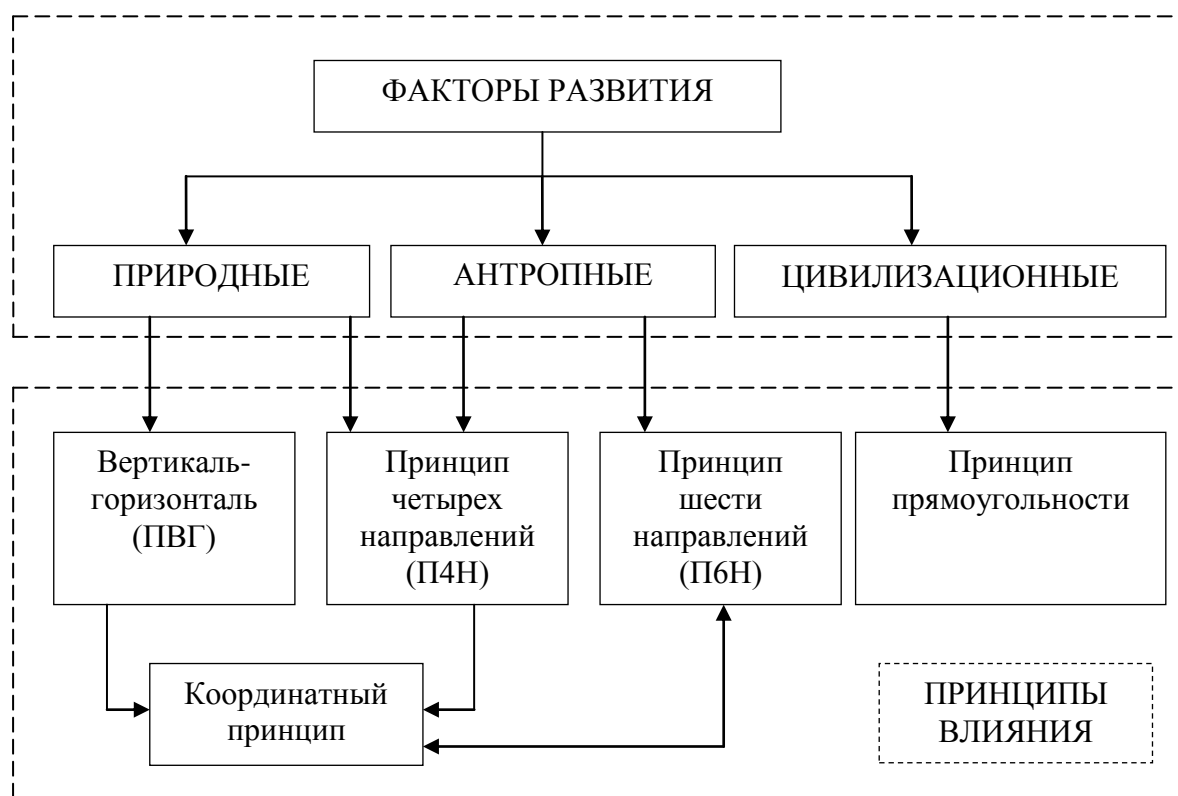


Рисунок 2 – Факторы развития и принципы влияния в технологическом развитии геодезии

Первый фактор (природного происхождения) представляет собой, на наш взгляд, наиболее важную, назовем ее геометрическая заданность фигуры самого человека: это его «четырёхсторонность» и «шестисторонность» – право, лево, назад, прямо, вверх, вниз. В этой «шестисторонности» наиболее ярко проявляется его такие важнейшие черты – прямой угол и перпендикулярность сторон, т. е. представленный принцип по существу можно характеризовать как следствие активной деятельности человека во всех сферах его жизнедеятельности и его возможной ориентацией в окружающем пространстве.

Вторая группа факторов (природного происхождения) характеризуется принципами влияния «вертикаль-горизонталь» и «4-х направлений». Объединение данных двух принципов влияния формирует координатный принцип (П6Н), а это предопределено физиологией человека.

Третья группа факторов – цивилизационные (их можно характеризовать технические). Ранее отмечалось, что данная группа связана с всесторонним

проявлением и применением принципа прямоугольности в процессе формирования среды обитания каждой цивилизации. Данная группа факторов формирует техническую сторону при формировании структуры развития цивилизации, которая окончательно сформировалась к 2-й половине XVIII века (1-я промышленная революция).

Человечество по мере своего развития вынуждено и обязано было создавать свою среду обитания, т. е. вторичную среду, что является следствием проявления 2-х первых групп факторов развития, в том числе природных и физиологических. Учитывая при этом условия разностороннего использования различных технологических средств измерений, преимущественное значение получили первые 2 группы факторов, в которых главной структурной характеристикой является прямой угол. Наиболее характерно проявляется роль прямого угла в процессе структурирования цивилизационной (технической) группы факторов развития, для которых проявление такого свойства как прямоугольность, по существу, представляется в качестве основного элемента при формировании среды обитания. Именно этот принцип (прямоугольность) внес ясность и логику всего технологического развития геодезии; дал объяснение использовавшимся геодезическим методам и технологиям в истории первых трех этапов развития геодезической науки. Этот принцип стал основой большинства разработанных измерительных систем, начиная с 3-го тысячелетия до н. э. и до настоящего времени. Можно утверждать, что роль прямого угла является своего рода константой технологического развития геодезии (развития геометрической и геодезической науки) [32; 37; 91], а вместе с ГСЭ он составляет основу развития теории и практики геометрии, а вместе с ней и геодезии. Особое значение фигура прямого угла получило в процессах строительства и земледелии в 4–3-м тысячелетиях до н. э. Именно в данное время начали строиться города древнего мира [57; 67], а земледелие, при этом, являлось основным ремеслом для создаваемых государств. С большой долей вероятности (по изучениям древних рукописей) можно утверждать, что в это же время в практике инженерных работ начал использоваться египетский священный треугольник со сторонами 3; 4; 5,

который, как фигура, а в реальном исполнении – это веревочный вариант, стал интерпретироваться как геометрическая и геодезическая основа для земельного кадастра и планирования городов.

В 3-м тысячелетии до н. э. приобрели значение в сакральной геометрии такие математические постоянные как: $\pi = 3,14$ и $\varphi = 1,618$, $\tau = 2\pi$, $e = 2,718$ и др. [25]. Константа π упоминается в папирусе Ринда, как постоянная величина отношения длины круга к его диаметру [91]. Другие постоянные связаны с геометрическими фигурами: окружность, квадрат, треугольник. Анализируя эти и другие подобные исторические факты, можно предполагать, что вся терминология геодезической науки древнего мира соотносилась с такими основными геометрическими понятиями как окружность, квадрат, треугольник и золотое сечение (оптимальное соотношение в процессе деления для крайнего и среднего положений). Эти понятия, своего рода константы, принимались во внимание при сооружении городов, храмовых комплексов, пирамид и др. С подобного рода понятиями и константами очень тесно взаимоувязана и переплетена геометрия и геодезия древнего времени. Данные понятия и константы вполне уживались и с «божественной» предопределенностью; в то же время им в полной мере закономерно соответствовали все вышеперечисленные три группы факторов развития, взаимосвязь между которыми показана на рисунке 1. Все вышеназванные три направления и условия развития тесно взаимосвязаны между собой и образуют целостность научных представлений о технологическом развитии геодезии (ТРГ).

1.3 Формирование структуры технологического развития геодезии

Пространственно-временная предметная предопределенность неизбежно вызывала в многообразной деятельности человека крайнюю необходимость в определенном структурировании пространства и времени, т. е. его делении и измерении. При реализации процесса деления пространства необходимы какие-то структурные элементы, например, точки, линии, поверхности в их физическом

понимании и с помощью которых человек мог бы характеризовать выполняемые процессы измерений в пространстве и времени. Что же касается будущего, то следует отметить, что в течение времени происходит их соответствующее изменение степени влияния и направленности [51; 59] в процессе технологического развития геодезии. Вследствие этого можно предположить, что любое исследование, связанное с познанием развития науки, включая и геодезическую науку, необходимо рассматривать с обязательным учетом и выявлением ее структуры [28–30].

В процессе нескольких веков в истории технической эволюции наметилось пять волн и сложилось пять технологических укладов. Так, под технологическим укладом (цикл Кондратьева Н. Д.) понимается «совокупность взаимосвязанных научно-технических направлений, выражающих ядро определенного этапа в развитии технической базы общества» [19]. 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. «определенную совокупность научных достижений, признаваемых научным сообществом в тот или иной период времени и служащий основой и образцом научных исследований».

Так в первой парадигме это были функции землеизмерения и землеразделения. В соответствии с ними формировались две области геодезических знаний (геометрия и геодезия) и готовились специалисты: агрименсоры, гарпедонапты и т. д.

Вторая парадигма характеризовалась как *геометрическая*. В ее рамках сформировалась наука геометрия, ее практическая часть и, соответственно, решением задач геодезии занимались уже специалисты из этой области знаний.

В третьей парадигме сформировались два новых метода: геодезический, топографический, а соответствующая им технология получила название – топографо-геодезическая.

Четвертая парадигма – геоинформационная (глобальная), переход к которой

осуществляется в настоящее время.

В языке геодезии обычно четко устанавливаются, исходя из предметной основы, ее границы и связи с другими науками, что очень важно в успехе общей научной эволюции [63]; это наглядно представлено в подразделе 1.5.

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; имелась 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, геопроостранственная	Созданы средне-специальные и высшие учебные заведения	Глобальное околоземное пространство	Глобальные и общеземные системы координат, геопроостранственные базы данных	Системы геометризации и геоинформационного обеспечения всех видов используемых пространств

Логистический закон и его роль в развитии геодезической науки. 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 Г. Н. Тетеринным и М. Л. Синянской)

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

где y – эффективность, точность соответствующих измерений;

x – историческое время ($x \geq 0$);

$a > 1$;

$b > 0$ 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 . Точность измерений в этом случае является обратной величиной по отношению к функции и характеризует погрешность измерений.

В виду цикличности технологического развития геодезии на оси времени размещается нумерация циклов (рисунок 3), обозначаемых как i ($i = 1; 2; \dots; n$); историческое время представляется как совокупность циклов (циклических интервалов). Выражение степенной функции в этом случае принимает вид

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

где i – номер исторической эпохи: $i = 1$ – доисторический (землемерный); $i = 2$ –

геометрический; $i = 3$ – топографо-геодезический; $i = 4$ – современный, начиная с конца XX века.

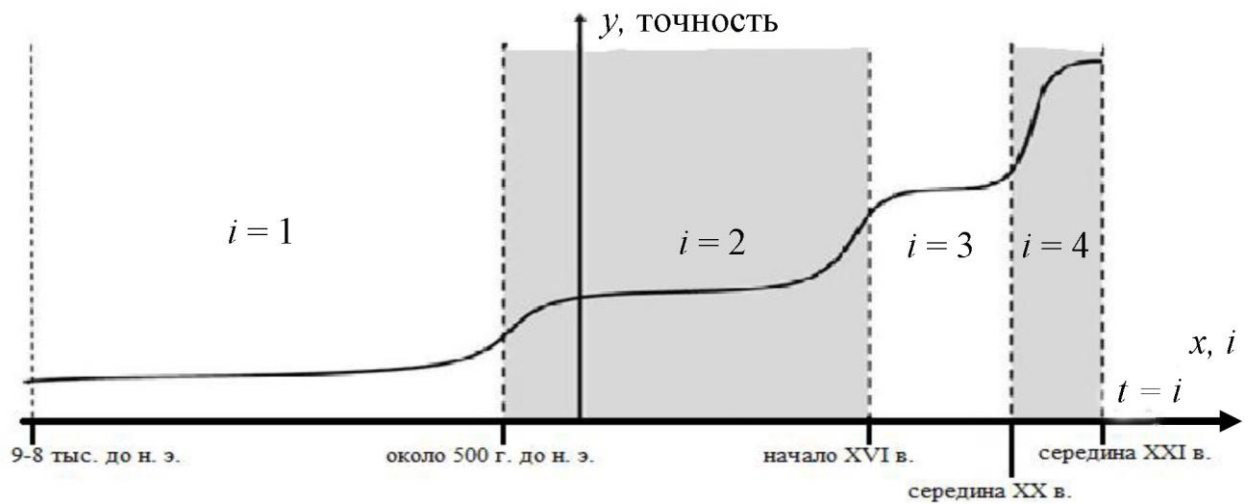


Рисунок 3 – Иллюстрация логистического закона развития геодезии

Соотношение точности геодезических измерений в двух соседних циклах (предшествующего к последующему или наоборот) дают 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 ступенчато образными 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 исследований смены поколений геодезических систем и технологий было выявлено их различие в точности измерений примерно на два порядка.

Таким образом, аналитическое выражение (2) для логистического закона развития геодезии, введенное Г. Н. Тетериным, 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 Н. Д. Кондратьева, научно-технический прогресс протекает волнообразно, с циклами, характеризующимися протяженностью примерно в 50 лет [19]. Хронологические исследования технологического развития геодезии позволили определить, что вся эволюция геодезии, т. е. ее технологическое развитие можно разделить только на 4 цикла (эпохи). Ранее в таблице 1 были 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

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

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.

Существенное значение в вопросах исследования технологического развития геодезии имеет задача периодизации, т. е. установление продолжительности технологических эпох. С позиций исторического подхода, позволяющего исследовать возникновение, формирование и развитие процессов и событий в хронологической последовательности в диссертации предложен алгоритм расчета дат и скорости развития технологических событий в виде коэффициента сжатия исторического времени; с этой целью для характеристики данного понятия было предложено такое понятие как критерий предопределенности технологического развития геодезии. Кроме того, для всех этапов развития геодезии, введено понятие «точки предопределенности»,

совокупность которых и определяет революционные части циклов развития.

Расчет длительности технологических эпох развития геодезии. Для расчета длительности технологических эпох развития геодезии введем обозначения: ΔT_i – продолжительность i -й эпохи; Δt_i – продолжительность революционной части i -й эпохи; и поясним ранее введенные обозначения: α – сжатие исторического времени в целом; β – 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

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

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 4-й эпохи было выявлено, что ее окончание будет приходиться примерно на 2052 г. На основе сопоставления данных биографических и хронологических Справочников 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 установленных значениях $\Delta T_2' = 1\,560$ и $\Delta T_3' = 330$ лет (биографический и хронологический Справочники) в соответствии

с формулой (4) вычислен коэффициент $\alpha_2' = 4,7$. Тогда длительность 4-й 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 4-й 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 β_i' , равный 3,2. В результате была рассчитана длительность революционной части 4-й эпохи $\Delta t_4' = 16$ лет и окончательно сформирован временной ряд $\Delta t_i' = \{500; 160; 50; 16\}$. В результате выполненных исследований определены значения ΔT_i , $\Delta T_i'$ и Δt_i , $\Delta t_i'$ для всех технологических эпох, из которых следует, что 1-я эпоха начинается в 9-8 тысячелетии до н. э., а 4-я завершается в середине XXI в. С использованием выражения 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 таблицах 2 и 3. 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 – 10-20 см на километр хода.

Таблица 2 – Погрешности геодезических измерений в различные технологические эпохи

Геодезические процессы измерений	Погрешности измерений на эпоху				
	1	2	3	4	5
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° до 0,3°	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

Таблица 3 – Погрешности геодезических измерений в относительной мере

Геодезические процессы измерений	Погрешности измерений на эпоху			
	1	2	3	4
Линейные	от 1 до 10^{-2}	от 10^{-2} до 10^{-4}	от 10^{-4} до 10^{-6}	от 10^{-6} до 10^{-8}
Угловые	от 1 до 0,01	от 0,01 до 0,0001	от 10^{-4} до 10^{-6}	от 10^{-6} до 10^{-8}
Нивелирные	от 1 до 0,01	от 0,01 до 0,0001	от 10^{-4} до 10^{-6}	от 10^{-6} до 10^{-8}

Выполненные расчеты позволяют полагать, что начало 1-й исторической эпохи (во втором варианте) соотносится с 9-м – концом 10-го тысячелетия до н. э. и связано с началом эпохи земледелия. Завершение 4-й эпохи относится к 2 052 году. Полученное расхождение между T_5' (дата завершения 4-й эпохи в первом варианте) и T_5'' объясняется революционной частью 5-й исторической эпохи. Различие в T_1' и T_1'' также объясняется временем начала революционной части 1-й исторической эпохи [38; 93; 95]. Следует отметить, что после 2052 года наступает революционная часть 5-й исторической эпохи. При этом революционные части циклов развития можно трактовать как переходные этапы применительно к новой эпохе. Предполагаемая точность всех выполненных автором расчетов характеризуется погрешностью порядка от 10 до 15 %. Данная погрешность характерна для установления уровня точности при формировании совокупности точек предопределенности в процессе научно-технического прогресса.

В результате выполненных автором расчетов и исследований были определены временные и точностные характеристики всех четырех исторических эпох; при этом следует отметить, что переход от одной исторической эпохи к последующей предполагает повышение точности измерений примерно на 2 порядка (интерпретация константы перехода – C). Подобный скачок с точки зрения эффективности и точности геодезических измерений можно объяснить появлением и применением принципиально новых систем измерений, технологий и теорий.

В первой эпохе измерения осуществлялись на основе физических данных

человека, в том числе и по фигуре человека. В целом, как следует из таблицы 2, точность всех измерений не превышала 0,01 (около 3° в построении прямого угла и 10 м в работах, связанных с превышениями). При переходе от антропной эпохи к последующей (геометрической) появились первые системы измерений (мерные веревка и колесо, устройство прямого угла, водный нивелир и ватерпас), сформировалась прямолинейно-прямоугольная технология, теоретической основой стала практическая геометрия и планиметрия. При переходе к третьей исторической эпохе появились технические инструменты, линейно-угловая (топографо-геодезическая) технология, при этом теория излагалась посредством высшей геодезии [83].

В настоящее время происходит формирование парадигмы четвертой исторической эпохи: появляются наземно-воздушные и наземно-космические системы измерений, формируются соответствующие технологии (геоинформационные), теория в данный момент отсутствует [90; 93; 94; 95]. Выполненные в последние годы исследования в области установления исторического времени (И. М. Дьяконов, А. В. Коротаев, С. П. Капица, А. В. Марков, А. В. Молчанов, Н. Ф. Челищев и др. [13; 15]). В рамках этих выполненных исследований получены расчетные данные для коэффициентов α и β в различных сферах деятельности человека. Например, в области демографии, коэффициент сжатия исторического времени оказался очень близок к соответствующим полученным значениям в геодезии.

В таблицах А.1–А.3 (приложение А) представлены точки предопределенности (изобретения, открытия) в геометрическую, топографо-геодезическую и геоинформационную эпохи.

1.4 Базовые понятия в теории технологического развития геодезии

Существование любой науки и ее развитие должно быть обусловлено ее важнейшей характеристикой – целостностью, которая выделяет её из ей подобных наук и в тоже время связывает её с ними. В основу теории технологического

развития геодезии положены три основных понятия: геометрическая концепция, геодезическая метрика (ФРПП) и геоструктурные элементы (ГСЭ), а также принципы, составляющие основу целостного технологического развития геодезии, т. е. принципы геометризации и координатизации. Важнейшее значение в общетеоретических построениях обычно составляет какая-либо совокупность исходных постулатов (аксиом). Так в геометрии общеизвестно аксиоматическое основание классической геометрии (геометрии Евклида). Как известно, истоки геометрии зародились в древней землемерии (по греческой этимологии – геометрия). Начиная с Аристотеля и до начала XX века, геодезия составляла практическую часть геометрии. Таким образом, предметное существо геодезии и геометрии было единым. Однако, начиная со 2-й половины 2-го тысячелетия, геодезия стала выделяться из геометрии в теоретическом плане. Ее теоретические основы были заложены трудами И. Ньютона, К. Ф. Гаусса, К. Клеро и др. В период третьей парадигмы в трудах И. Ньютона, Д. Кассини, Р. Декарта, К. Ф. Гаусса и других великих ученых формируется новая научная целостность и система, получившая название геодезия.

В практическом плане уже в XVII веке в геодезической науке сложились два новых метода (геодезический и топографический), а позже инженерно-геодезический, применяемые для решения всей совокупности задач, связанных с ФРПП. И уже начиная с XIX века такая дисциплина, как высшая геодезия стала характеризовать целостные особенности геодезического знания. Методологическое объяснение этого значимого события дал Болотов А. П. [6; 7]. В последующем методологические рассуждения и определения науки давались только применительно к высшей геодезии или топографии. В конце XIX и первой половине XX веков происходило быстрое развитие прикладных частей геодезии, а также в области решения задач, связанных с координатизацией окружающего пространства, точнее с фигурой Земли и системами координат (СК). Последние стали впоследствии понимать, как предметную сущность геодезии [69; 87].

К середине XX века необходимость в собственной теории представления геодезии стала уже глобальной проблемой. В работах с участием автора [66; 67;

68; 76] эта теория стала определяться как теория развития геодезии. Вместе с тем для строгости этой теории, по аналогии с классической геометрией, требуется какая-либо совокупность соответствующих постулатов, накладывающих жесткие теоретические условия, в соответствии с которыми могли быть четко определены границы геодезической науки, ее связь с другими науками, а также формы реализации ее методов к объектам приложения. В такой теории важнейшую роль (как и в классической геометрии) играют геоструктурные элементы (ГСЭ), с помощью которых реализуются все геодезические методы и все задачи, связанные с ФРПП.

Геометрическая концепция в процессе технологического развития геодезии означает, что геодезическая наука берет начало с середины 1-го тысячелетия до н. э. и вплоть до XVII века развивалась в рамках классической геометрии, предметом которой были пространственные отношения и формы, а система геодезических знаний именовалась «Практической геометрией» (до XX в.) начиная с работ Аристотеля и Герона Александрийского [83; 91]. Вторым основополагающим понятием в процессе технологического развития геодезии является предмет научной системы геодезических знаний – геодезическая метрика (ФРПП), которая составляет логическую основу технологического развития геодезии и объединяет геодезию с геометрией на их общей предметной основе. Нахождение ФРПП в геодезии осуществляется с помощью линейных и угловых измерений, моделирования и контроля. Вместе с тем осуществить эти операции в пространстве на объектах и явлениях природы возможно, если их можно представить совокупностью точек, линий и поверхностей. Именно они составляют основу классической геометрии, а также структурную основу геодезии применительно к объектам измерений окружающей среды.

Третьим понятием в процессе технологического развития геодезии являются геоструктурные элементы (ГСЭ) – точки, линии, поверхности. Геоструктурные элементы дают возможность представить в геометрическом виде любые физические объекты и явления, тем самым позволяя измерять и моделировать геометрические образы, формируемые этими ГСЭ. Кроме того,

ГСЭ определяют реализацию факторов предопределенности, в том числе двух принципов влияния: ПВГ и П4Н (П6Н). В этих принципах влияния, используя определенные точки, линии и поверхности, происходит формирование соответствующих геодезических приборов и методов (например, для нивелирования использовались приборы ватерпас, хоробата, которые реализовали принцип «вертикаль-горизонталь»). В земледелии, строительстве важную роль в организации пространства играли вертикали, горизонталы, фигура прямого угла, которые в совокупности обуславливали построение вторичной среды и организацию земельного пространства.

Геоструктурные элементы стали основой постулатов евклидовой геометрии; в тоже время они также являются тем самым фактором для построения соответствующих постулатов геодезии. Так в работах с участием автора [67, 79] введена совокупность постулатов о ГСЭ; именно эти постулаты дают определенную полноту и строгость теоретических основ геодезии, одновременно являющихся основой ТРГ. Установленные для ГСЭ постулаты четко ставят границы системы научных знаний и их связи с другими науками. Вся совокупность постулатов разбита на 5 групп и, которые представлены в приложении Б.

1.5 Языковое описание эволюции развития геодезической науки

В каждой науке огромное значение имеет язык определений, как в целом науки, так и ее отдельных частей, разделов. В основе таких определений лежат их предметные выражения, при этом должен соблюдаться некий уровень абстрактности и обобщенности. Последнее необходимо, поскольку ими должна быть охвачена вся сфера научных и профессиональных знаний и все историческое время. В тоже время язык определений должен отражать всю современность геодезии и некую сущность будущего.

В процессе эволюции в каждой науке формируется своя терминология, язык, которые по мере развития системы знаний постоянно обновляются.

Языковое поле науки формируется на основе методологической триады, т. е. с учетом предмета, метода и объекта приложения науки. Все изменения в методологической триаде и ГСЭ, с помощью которых реализуется геодезическая наука, соотносятся со своими историческими эпохами. В результате всех изменений каждая историческая эпоха может быть характеризована своим языком, основу которого составляет понятийно-терминологический базис, соответствующий определенной парадигме. Как было показано в таблице 1, в истории геодезии существовало три парадигмы – землемерная, геометрическая и топографо-геодезическая. В настоящее время осуществляется переход к 4-й парадигме – геоинформационной (глобальной).

Для каждой парадигмы в рамках исторической эпохи в таблице 4 представлены характерные элементы языка (понятия, терминология, языковое пространство и т.п.) [62; 63; 65; 91]. При переходе от предыдущей парадигмы к последующей происходит существенное обновление языкового поля науки. Содержание данной таблицы наиболее полно и строго характеризуется изменениями, выделяющими каждую парадигму относительно других. Ход и историческое развитие научно-геодезических знаний имеет в своей основе своего рода предопределенность, как составляющую стержня развития, в котором проявляются все факторы предопределенности. В приложении А в таблицах 1,2,3 представлены точки и циклы предопределенности развития геодезии.

Циклы предопределенности отражают действие логистического закона развития геодезии [66; 67; 68; 76; 84; 85]. В таблице 5 представлены группы ключевых понятий и терминов, в том числе центров порождения новых составляющих как основы наступающей новой парадигмы. Так, например, переход к 4-й парадигме осуществляется, начиная со 2-й половины XX века (особенно в последние 2-3 десятилетия). В процессе этого перехода заметно меняется и обновляется понятийно-терминологическая основа геодезии.

В содержательной основе изменений понятийно-терминологической базы основная часть осуществляется за счет ФРПП, ГСЭ, применяемых инструментов, приборов и систем измерений, моделирования и за счет новых технологий. В

основе каждой новой парадигмы лежат новые социально-экономические, хозяйственные и научные сферы востребованности геодезии и соответственно формирование новых специализаций, специальностей и т. д. При этом в каждой парадигме проявляется какая-либо главная функция реализации геодезии.

В таблице 5 четко выражены все ключевые моменты изменений языкового поля геодезии, как каждой отдельной парадигмы, так и для особенностей перехода к последующей. Так, например, в таблице представлены прогнозные особенности 4-й парадигмы и особенности перехода к ней от 3-й парадигмы применительно к методологической триаде и ГСЭ.

Значимость геодезического знания на всех этапах ее эволюции характеризовалась участием в ее прогрессе выдающихся представителей исторических эпох, мыслителей, гениев. В этом сказывается историческая значимость и востребованность геодезии [53; 58; 66; 67; 76]. Основу постоянной востребованности геодезии составляет то, что в окружающем мире происходят изменения, требующие оценки по ФРПП. Если первые 2 парадигмы, особенно 2-я, характеризовались классической геометрией, то в 3-й парадигме происходит выделение геодезии в самостоятельную науку. В процессе этого выделения становится важным целостное системное представление геодезии как самостоятельной науки, в которой решаются как прикладные (геометрические), так и самостоятельные задачи, вытекающие из ее предметно-научного развития.

В развитии геодезии ее целостное представление играет определяющую роль, при этом целостность может быть выражена через предметное существо геодезии (методологическая триада) и ее три основные задачи - земледелеие, землемерие и строительство. Основные понятия геодезии новейшего времени, термины и определения, представлены в работах с участием автора [66; 68]. Ниже приведено их строгое представление в изложении работы [86]: «измерение, моделирование и контроль геодезической метрики (ФРПП) объектов и явлений окружающего мира применительно к соответствующим структурным элементам».

В тоже время, естественно, существует некоторая неопределенность в плане геодезической метрики. Вполне понятно, что формой, размерами,

пространственным положением характеризуется любая часть и элементы окружающего мира. Геодезия имеет дело с объектами и явлениями, относящимися к третьему блоку триады, в соответствии с рисунком 3, причем геометризованных, т. е. представленных с помощью геоструктурных элементов. Тогда, если под геометризацией понимать представление объектов и явлений с помощью ГСЭ и получение в какой-либо форме и виде их геодезической метрики, то в этом случае геодезию можно кратко определить, как науку о геометризации объектов и явлений окружающего физического пространства [64]. Таким образом, получение ФРПП объектов и явлений окружающего пространства происходит путем измерений (определения), моделирования и контроля ее изменений во времени на основе ГСЭ. Тогда вполне становится понятно, что, реализуя предметные задачи геодезии имеется возможность представления физических объектов и явлений в виде совокупности ГСЭ: точек, линий, поверхностей. Именно этот процесс можно охарактеризовать как геометризацию.

В более широком смысле под геометризацией можно понимать геометрическую структуру окружающего пространства (совокупности объектов и явлений) в виде определенного множества ГСЭ, позволяющего получить ФРПП путем измерений, моделирования и контроля этой триады.

В более узком смысле под геометризацией понимается представление объектов и явлений окружающего пространства с помощью ГСЭ в виде графических, аналитических, цифровых и других моделей [77; 79; 80]. Следует уточнить еще одно обстоятельство. Форма, размер и пространственное положение ФРПП, т. е. все геометрические параметры и характеристики, включая и данный объект, могут быть определены и выражены через координаты в случае, если координатизированное пространство содержит данный структурированный объект, выраженный через ГСЭ. Именно по этой причине в работах с участием автора [37; 49; 66; 67] геодезия в частности определяется как наука о геометризации и координатизации объектов и явлений окружающего пространства.

Таблица 4 – Характерные элементы языка (понятия, терминология, языковое пространство и т. п.)

Название эпох	Длительность эпох	Принятая терминология	Существующие школы	Пространство	Результаты геодезической деятельности, методы	Интерпретация и понимание
Землемерная эпоха	От 6 000 до 8 000 лет	Землемерная	Писцовая	Полисы	Система межеваний, чертежи размежевания	Землемерная
Геометрическая эпоха	Около 1 600–1 700 лет	Геометрическая	Александрийский университет; школа агрименсоров	Империи	Города, каналы, дороги, географические карты, кадастр	Геометрическая
Топографо-геодезическая эпоха	Около 400 лет	Топографо-геодезическая	Топографические училища; геодезические академии	Земной шар	Топографические карты, системы координат, геодезические сети	Топографо-геодезическая
Геоинформационная эпоха, глобальная	с XXI века	Координатная, геопространственная	-----	Глобальное, околоземное	Глобальные и общеземные системы координат; геопространственные базы данных	Координатно-геометрическая, геопространственная

Таблица 5 – Парадигмы и их языковое поле

Методологическая триада		
Предмет	Метод	Объект
<p>Формирование понятия прямой линии, прямого угла, прямоугольных фигур, понятий вертикальности, горизонтальности и перпендикулярности; характерные линии и точки местности (линии равноденствий и солнцестояний); Египетский треугольник; формирование представлений плоскости, окружности. Положение точки определяется удалением</p>	<p>Измерение по прямой, построение прямого угла. Расчет по прямоугольным фигурам. Ориентация по характерным точкам местности, линиям, небесным явлениям. <i>Средства</i>: мерная веревка, землемерный крест, водный нивелир</p>	<p>Земельные угодия, межевые линии, линии крепостных стен, улиц, площадей. Формирование первых стандартов и требований по ФРПП применительно к земледелию (земельным угодиям) и градостроительству. Формирование первых представлений о Земле по <i>ФРПП</i>: форма – плоская; размер – Ойкумена; пространственное положение – антропоцентризм.</p>
<p>Геометрия Евклида, планиметрия, стереометрия, кривые Аполлония, поверхность сферы. Положение точки определяется двумя координатами (x, y).</p>	<p>Измерение и построение прямых линий и углов (прямолинейно-прямоугольная технология), географические и дорожные карты, городские планы, географическая и астрономическая система координат, Применение прямоугольных фигур в решении инженерных задач. <i>Средства</i>: мерная веревка, шест, землемерный крест, диоптра, хоробата, ватерпас, абак, пальцевый счет.</p>	<p>Линейная и площадная инфраструктура земельных угодий и городов (Древний Рим, Греция и т. д.), структурные линии, поверхности. Представление о Земле по <i>ФРПП</i>: по форме – шар; по размеру - данные Эратосфена, по пространственному положению – геоцентрическая система мира.</p>
<p>Аналитическая и дифференциальная геометрии; теория поверхностей; кривые второго и более высокого порядка; кривые двойкой кривизны; теория построения геодезических сетей; теория картографических проекций. Положение точки определяется тремя координатами (x, y, z).</p>	<p><i>Геодезический метод</i>: построение геодезических (тригонометрических) сетей; создание государственных опорных сетей. <i>Топографический метод</i>: топографические съемки местности; топографические карты, атласы; трехмерные системы координат; геодезическая и гринвичская системы</p>	<p>Земной эллипсоид, геоид, уровенные поверхности. Представление о Земле по <i>ФРПП</i>: по форме – эллипсоид; по размеру – данные Кларка, Бесселя, Красовского; по пространственному положению – референц-эллипсоиды.</p>

Продолжение таблицы 5

	<p>координат; декартовые, референчные системы СК; трехмерное (Евклидово) пространство.</p> <p><i>Средства:</i> оптико-механические инструменты (теодолит, нивелир, кипрегель, мензула, астролябия, тахеометр); метод логарифмов; счеты, арифмометры.</p>	
<p>Геометрия пространств различной кривизны и размерности; топологические поверхности.</p> <p>Положение точки определяется четырьмя координатами (x, y, z, t).</p>	<p>Электронные и информационные системы измерений, моделирования и контроля метрики; космические методы; дистанционное зондирование и сканирование; координатизация земного и околоземного пространства; четырехмерная система координат (пространство - время); базы геопрограмственных данных; электронно-информационные цифровые карты, атласы и др.</p> <p><i>Средства:</i> электронно-информационные цифровые средства измерений, моделирования и контроля метрики; построение ФАГС</p>	

1.6 Категорийное понятие термина «критерий» для характеристики технологического развития геодезии

Из определения, предложенного Ефремовой Т. Ф., «критерий – это признак, на основе которого производится оценка, определение или классификация чего-либо; мерило оценки» [41]. Следовательно, под критерием предопределенности технологического развития геодезии понимается некая мера оценки предопределенности развития. Вместе с тем, существует множество аспектов предопределенности технологического развития геодезии, в которых вполне оправдано применение критерия как оценки какого-либо явления или совокупности исторических событий. Наиболее очевидное понимание – это понятие находит при анализе характеристик и следствий, которые вытекают из логистического закона развития геодезии. На основании данного закона следует, что критерием отнесения геодезических событий к той или иной исторической эпохе, парадигме является сам закон – показательная функция, представленная выражениями (1) и (3). Именно критерий точности заложен в основу классификации исторических эпох и соотнесения с ними соответствующих геодезических событий [93; 94; 95].

Характерной особенностью для исторического времени является цикличность и неравномерность развития событий и важнейшим критерием этой особенности предложен авторам коэффициент сжатия исторического времени – своего рода критерий предопределенности. С точки зрения системности представления знаний в области геодезии именно он служит критерием пространственно-временного технологического развития геодезии.

Другим важнейшим приложением понятия критерия является глобальное свойство прямоугольности как характеристики всеобщности в сфере различной деятельности людей, в том числе геодезической. Критерий прямоугольности (предопределенности) в данном понимании и приложении к геодезии (особенно для древнего времени) – есть прямой угол как фигура или как величина ($\pi/2$). Всесторонность этого явления и его значимость представлена в египетском

священном треугольнике и его теоретическом выражении – теореме Пифагора. Этот треугольник также связан с золотым сечением (божественной пропорцией), численное выражение которого есть константа $\varphi = 1,618$. Помимо этого, такие постоянные, как π , φ в древнее время также связывали со свойством прямоугольности. Так, например, землемерие и строительство древнего времени связано с тремя главными прямоугольными фигурами: квадрат, прямоугольник, треугольник. Эти константы в тоже время были связаны с тремя сферами применения геодезии (земледелие, землемерие и строительство) и являлись своего рода критериями предопределенности [36; 37; 42].

1.7 Выводы по первому разделу

Сформированы научно-методические основы технологического развития геодезии, характеризующих целостность научных представлений о ее технологическом развитии, и которые объясняют определенные закономерности ее развития путем выявления определенных периодов и установления дат развития геодезии.

Разработана система критериев, принципов и факторов технологического развития геодезии, формирующих научно-методическую основу технологического развития геодезии, что позволяет объяснить определенные закономерности ее развития путем выявления определенных периодов и установления дат развития геодезии.

Разработан алгоритм расчета длительности технологических эпох, даты их начала и завершения с целью периодизации развития геодезии.

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 [33].

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ

2.1 Формирование методологической триады в геодезической науке

Объективное и четкое представление о какой-либо науке (системе знаний) складывается на основе ее предметного существа, применяемого метода и, наконец, специальных объектов приложения. Ранее были введены понятия: методологическая триада (предмет, метод, объект) и геоструктурные элементы (точки, линии, поверхности, прямой угол), которые в своей совокупности позволяют наиболее полно и строго представить в системном изложении структуру геодезической науки в любом временном историческом промежутке (рисунок 4).

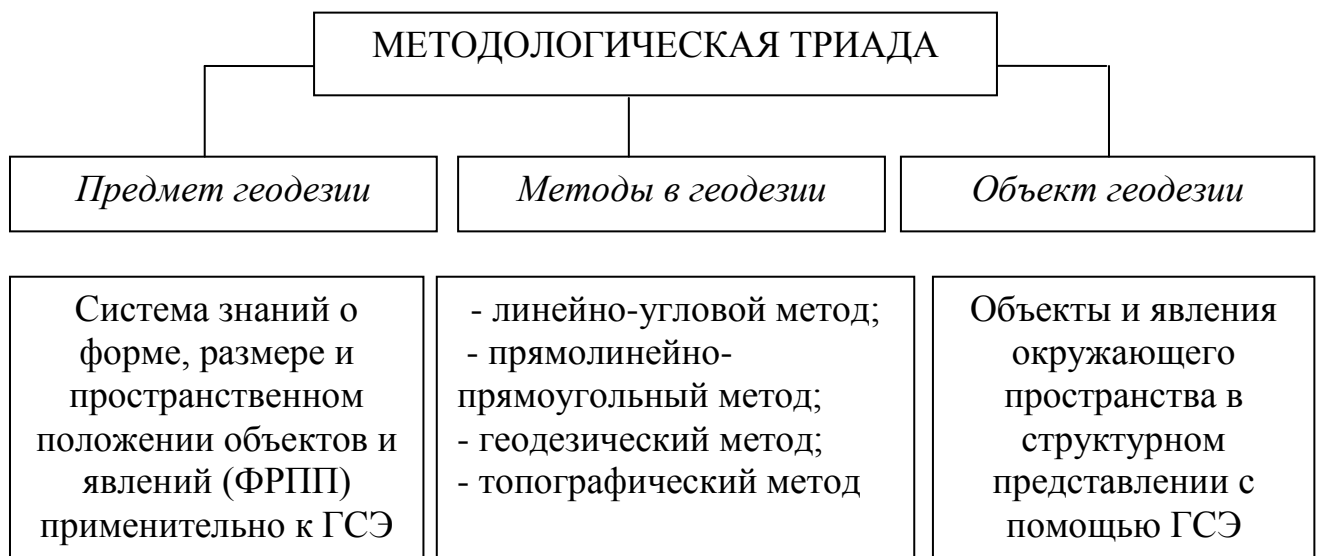


Рисунок 4 – Методологическая триада в геодезии

Предмет геодезии. Предметный подход в представлении и понимании геодезии был положен в основу написания исторического становления геодезии. Этот подход определялся как геометрическая концепция [77]. Подтверждение данной концепции находит в истоках становления геодезии (геометрия-землемерие), сформулированной в то время геометрической терминологией и

единым названием сочетания всех геодезических знаний – практическая геометрия (со времен Аристотеля, Герона Александрийского). По существу, подобное сочетание всей совокупности геодезических знаний развивалась в рамках развития и эволюции классической геометрии. Классическую геометрию определяли, как науку о форме и пространственных отношениях. Для геодезии предметный смысл характеризовался как система знаний о форме, размере и пространственном положении объектов и явлений окружающего мира (ФРПП). Именно ФРПП, применительно к окружающей среде и составляло для человека основу в его деятельности организации пространства (и времени) и создания своей ойкумены вторичной (искусственной) среды. И если первоначально проблемы выживания для человека были связаны с решением практических задач, то впоследствии возникли и теоретические по определению ФРПП. Эти проблемы, связанные со средой обитания и сферой деятельности (земледелием), стали отправной точкой формирования геометрии (этимология землемерия) [77; 79; 80].

Первые геометрические термины появились и сформировались в процессе землеустройства, землемерия (размежевание земельных угодий и земельный кадастр) [53; 66]. Осуществление и решение задач по определению ФРПП объектов и явлений окружающего пространства решалось с помощью и на основе измерений, моделирования (обработка измерений) и контроля ФРПП. Вместо ФРПП метрическую триаду можно назвать геодезической метрикой. Совокупность данных о ФРПП можно определять, как геопространственные данные (ГПД). Этот термин в настоящее время находит широкое применение. Традиционное определение геодезии опубликовано Кузьминым Б.С. и используется в литературе с середины XX века [20].

Методы в геодезии формировались в процессе технологического развития геодезии в связи с решением задач по определению геодезической метрики, связанных со строительством и межеванием земельных угодий. Все эти процессы проходили с учетом принципов влияния и факторов предопределенности (отмеченных ранее) и которые соответствовали законам и свойствам окружающей

среды и являлись средством решения всех геометрических задач. Теоретически и практически средством для формирования методов геодезии явились линии и углы, которые достаточно корректно вписываются во 2-ю и 3-ю группу ранее представленных постулатов.

Линии и углы сформировали линейно-угловой метод в геодезической практике и теории, который господствовал на протяжении первых трех исторических эпох (парадигм). С помощью данного метода решались практически все задачи геодезии, связанные с ее предметной сущностью.

Роль угла в геодезии, в особенности прямого, в реализации геодезических методов имеет особую значимость. Так на протяжении 2-х первых эпох прямой угол использовался в геодезических измерениях и всех построениях на земле. Именно по этой причине сформированный метод именовался как прямолинейно-прямоугольный метод.

Геодезия древнего и нового времени считалась измерительной, поскольку в ней выполнялись преимущественно измерение ГСЭ. Для решения всех последующих задач, связанных с технологическим развитием геодезии, роль моделирования ГСЭ возрастала все более выразительно, особенно это проявляется примерно во 2-й половине 2-го тысячелетия. Начиная с конца XVI и начала XVII веков в линейно-угловом методе произошли существенные изменения в плане угловых измерений (измерение углов любой величины) и линий различной кривизны (второго порядка). В тоже время линейно-угловой метод (кроме измерительной функции) имел вполне определенные задачи как в целях координатизации пространства, так и в решении возникающих инженерных задач. Для решения всей совокупности геодезических задач с использованием данного метода разрабатывались геодезические инструменты: землемерные кресты, мерные веревки и шесты, водные нивелиры и ватерпасы [58], в которых учитывались ранее введенные принципы влияния.

В XVII веке сформировался геодезический метод построения тригонометрических сетей. Его целью было создание координатной основы на земной поверхности, т. е. в целях координатизации окружающего пространства. В

данном методе наиболее четко отразилась его линейно-угловая характерная черта и уже с этого времени реализация данного метода стала осуществляться с помощью инструментов для новых линейно-угловых измерений: теодолит, кипрегель, нивелир и т. д. Таким образом, применение линейно-углового метода в геодезической практике и совокупности всех соответствующих инструментов позволило сформировать и реализовать геодезический метод (метод построения геодезических сетей) и топографический метод (создание топографических карт). В конечном итоге, использование всех перечисленных методов в течение последних трех последних столетий позволило решить задачу топографо-геодезического обеспечения в целом, как для отдельных стран, так и для всего мира, как в хозяйственных, так и в научных целях [53]. Отметим следующую важную деталь, а именно, что одну из важнейших характеристик совокупности геодезических знаний – информацию, можно оценить через ГСЭ. Именно структура физических объектов и вся совокупность работ в конечной продукции (карты, сети, модели) может быть выражена через параметры ГСЭ или представлена в итоге в виде совокупности ГПД, отражающих ФРПП [54].

Объект геодезии. Под объектом в геодезии понимаются объекты и явления окружающего пространства в структурном представлении с помощью ГСЭ, их физической или геометрической реализации. Например, Землю можно представить в виде определенной фигуры, например, физическая поверхность Земли или в виде земного эллипсоида, поверхностью геоида, квазигеоида и т. д. В объекте геодезии выделяются ГСЭ: объект структурируется точками, линиями, поверхностями, с помощью которых реализуются основные задачи геодезии – определение ФРПП с применением соответствующего метода [77].

Принципы влияния и феномен прямого угла. Если обратиться к историческому развитию общества, то и здесь имеется некая совокупность неизменных феноменов и фактов, не имеющих убедительного объяснения. В процессе технологического развития геодезии также присутствует (в историческом смысле) некая заданность, своего рода предопределенность развития в методах, в приборах и в технологиях; при этом в исторической

эволюции геодезического знания сохранялись неизменными базовые элементы, такие как прямые линии, прямые углы, горизонтальные и вертикальные плоскости, пересекавшиеся под прямым углом. Предметное понимание линии, угла, фигуры окончательно сформировалось в «Началах» Евклида, его аксиомах (постулатах). Однако, использование таких понятий как линия, прямая, угол и др. возникло задолго до Евклида и его геометрии [34].

С истоков геодезии, в ее технологиях, инструментах, системе древних знаний неизменно присутствует свойство прямолинейно-прямоугольности. Естественно возникает вопрос, какие законы природы и свойства окружающего мира оказали воздействие на формирование явления прямолинейно-прямоугольности и, что предопределяло направленность этого развития. И здесь в роли факторов предопределенности развития геодезии выступают именуемые ранее «принципы влияния» [35; 36; 57].

Принцип «вертикаль-горизонталь» (ПВГ). Один из главных законов природы – притяжение, тяготение (закон всемирного тяготения) и в его границах сформировался принцип «вертикаль-горизонталь». Составляющие этого принципа: вертикальность, горизонтальность – два устойчивых состояния для земной поверхности. Падение предметов происходит по вертикали, линия отвеса также расположена вертикально, как и одно из устойчивых состояний человека. Принцип ПВГ является основой человеческой деятельности, связанной с высотной планировкой при строительстве и другими геометрическими условиями при формировании вторичной среды. Начало использования этого геометрического условия положено в 4-3-х тысячелетиях до н. э. [31; 35; 75].

Второе характерное состояние для этого принципа – это линия горизонта, уровень воды. Этот принцип формирует прямой угол (греки его называли фигурой).

В предыдущей главе дано понятие ГСЭ, включавшее в себя точки, поверхности и линии. Использование последних и их восприятие в геодезической практике чрезвычайно многофункционально: линия деления, линия границы, линия как ориентир. Использование линий появилось на ранней стадии

человеческой деятельности. Прямая линия или линия кратчайшего расстояния задана природой через солнечный луч, линию горизонта, наконец, через взгляд человека. Появление прямой можно связать с появлением лука (тетива как прямая) примерно 20-30 тысячелетий назад. В этом же примере впервые демонстрируется прямой угол в месте пересечения тетивы и стрелы. Наиболее значимо роль прямой и роль прямого угла проявились в период деления земельных угодий.

Принцип четырех направлений (П4Н). С давних времен человек стал ориентироваться как в пространстве, так и в повседневной жизни, и в моменты миграций. В плане ориентации и общей предопределенности воздействия оказывают влияние земные законы, космос и др. С древнейших времен перемещение небесных тел и ось вращения Земли позволяли человеку ориентироваться по четырем сторонам света (север, юг, запад, восток) по магнитному полюсу Земли, полуденной линии и т. д. В этой ориентировке человек выделил четыре направления и соединил их двумя перпендикулярами (линия восхода-захода Солнца и ей перпендикулярная полуденная линия, а также параллели и меридианы). Геометрически это можно представить в линиях равноденствий, солнцестояний и т. д. Часто эти ориентиры имели геометрическое выражение в виде двух направлений и четырех точек. Эти два направления – линии ориентирования располагались перпендикулярно друг другу, а это создавало универсальный принцип – стандарт ориентации, используемый во всем мире [31; 35; 75].

Если объединить ПВГ и П4Н, то в совокупности они дают «принцип шести направлений» (П6Н) и это достаточно убедительно и четко реализовано в фигуре человека и его «шестисторонности» на рисунке 5. Так, еще с глубокой древности сформировались такие понятия как, право, лево, прямо, назад, верх, низ. Все эти понятия отражают проявление прямого угла в самой фигуре человека и расположении его рук (право, лево) и прямого взгляда «прямо» и противоположного ему «назад». Линия разворота плеч, линия глаз перпендикулярны вертикали человека, проходящие через нос, подбородок и

другие части тела. В человека заложена центральная симметрия, пропорциональность, гармония, что отвечает законам природы. Также в его фигуре присутствует и божественная пропорция (золотое сечение, $\phi = 1,618$) [4; 81].

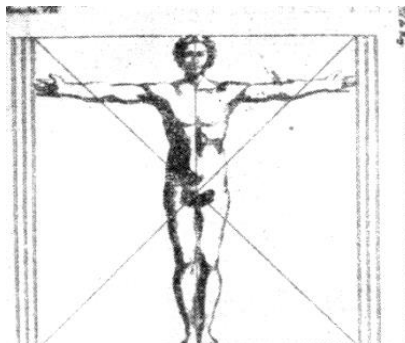


Рисунок 5 – Реализация принципа *П6Н*

В тоже время человек является носителем пространственной прямоугольной системы координат, которую он заложил в теорию и практику геодезической науки. Координатная интерпретация человека, представленная на рисунке 5, демонстрирует центр симметрии и шесть направлений [31; 35; 75].

Введенные ранее принципы влияния или принципы ориентации природного характера оказали определенное влияние окружающего мира на человека и на становление геодезического знания как факторы развития. В качестве таковых были предложены три фактора развития (природные, антропные, цивилизационные), представленные ранее на рисунке 2. Эти два принципа влияния (*ПВГ* и *П4Н*) составляют фундамент организации пространства и их можно рассматривать как основу жизни человека. Они заложены в человека самой природой, что предопределило его поведение, условия жизни, идеологию и мировоззрение. Оба принципа связаны с прямым углом, который рассматривается как геометрическая фигура, заложенная в окружение человека, его среду обитания, его физиологию. В нашем представлении под прямым углом понимается фигура, образованная пересечением двух взаимно перпендикулярных линий (природного или антропного происхождения) – это главный структурный элемент принципов влияния [78].

С указанными ранее принципами влияния связано также понятие симметрии. Пример центральной симметрии, заложенной в человеке, представлен на рисунке 6 [31; 35; 75].

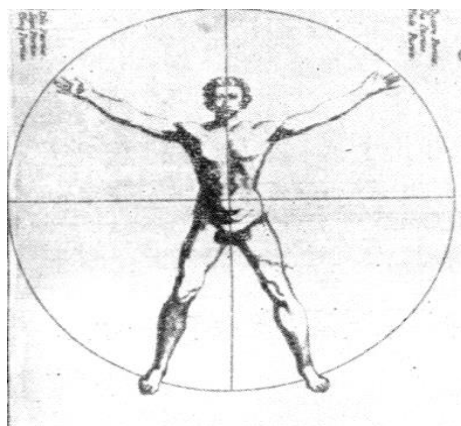


Рисунок 6 – Пропорции человеческого тела

Осевая и центральная симметрия, феномен прямого угла и фундамент для применения различных систем координат нашли место в фигуре человека и его ойкумене. Геометрия, заложенная в человека, составила основы практического и научного развития цивилизации. При этом важнейшую основную функцию в ней выполняет прямой угол. Тем самым очевидно, что прямой угол и вышеназванные принципы влияния применялись в различных областях жизни человека и его деятельности и несли божественный смысл.

Прямой угол и его реализация при конструировании геодезических инструментов и в системах для угловых и линейных измерений. В человека природой изначально заложены принципы влияния, прямой угол, условия параллельности и перпендикулярности. Этих знаний на первых этапах жизнедеятельности было вполне достаточно для построения на земле прямоугольных фигур и выполнения различных измерений на местности, в том числе при разбивке земельных угодий: в этом плане человек самодостаточен.

В применяемых системах измерений, в конструировании всех геодезических инструментов раннего времени изначально был заложен принцип «вертикаль-горизонталь» (ПВГ). Вследствие данного обстоятельства все приборы и устройства (ватерпасы, хоробаты, землемерные кресты, позднее теодолиты,

нивелиры и др. приборы) должны были иметь устройства для приведения в рабочее положение, где одна ось была бы расположена вертикально, а другая горизонтально.

Геодезические системы измерения развивались также на основе принципов ПВГ и П4Н, в том числе и для решения задач, связанных с геометризацией и координатизацией пространства, с практикой и теорией обработки результатов измерений. В основу структуры систем измерения был заложен, как правило, прямой угол и поэтому, по существу, эти системы измерений представляли инструменты прямого угла. Принцип «вертикаль-горизонталь», как отмечено выше, был заложен во все приборы того времени с целью их ориентации в пространстве. Принцип «четырёх направлений» П4Н являлся же основой таких геодезических понятий как азимут, дирекционный угол, румб и т. д. [31; 35; 75].

Конструирование геодезических инструментов, начиная с ватерпаса, хоробаты и землемерных крестов, а в дальнейшем астролябии, теодолита, нивелира и других осуществлялось с жестким соблюдением условий прямоугольности основных частей приборов. Во всех геодезических инструментах такими составными частями являлись различные оси и плоскости: вертикальная ось вращения инструмента, ось вращения зрительной трубы, зрительная ось, ось уровня, плоскости лимба, алидады горизонтального и вертикального кругов. Во взаимном положении рассматриваемых плоскостей и осей закладывалось условие прямого угла, условие перпендикулярности. Соответственно основными поверками во всех геодезических инструментах закладывались соблюдения условий перпендикулярности взаимного положения плоскостей и осей. Например, зрительная ось должна быть перпендикулярна оси вращения трубы: ось уровня перпендикулярна или параллельна оси вращения инструмента: плоскости горизонтальных и вертикальных кругов перпендикулярны соответствующим осям и т. д.

Поверки перпендикулярности (поверки прямого угла) осуществлялись во все времена, начиная с использования ватерпаса. Поэтому конструктивной особенностью геодезических инструментов, не только Древнего, но и Нового

времени являлось жесткое условие взаимного расположения в инструменте рассматриваемых частей и обязательное выполнение соответствующих поверок и юстировок. В таблице 6 отражена всесторонняя функциональная характеристика конструктивных особенностей различных систем измерений при их использовании [91], включая проложение ходов (геодезическое обеспечение) и обработку результатов измерений и т. п.

Таблица 6 – Роль прямого угла и принципов влияния в геодезии

Название разделов	Содержание
Геодезические приборы и инструменты	<p>В основу конструкции геодезических приборов и инструментов заложены возможности использования горизонтальных и вертикальных осей и плоскостей, расположенных взаимно перпендикулярно по отношению друг другу.</p> <p>Во всех геодезических инструментах реализуются инструментальные поверки прямого угла (условия перпендикулярности осей и плоскостей). В геодезических приборах и инструментах предусмотрены устройства (приспособления), реализующие возможность приведения осей и плоскостей в горизонтальное или вертикальное положение в соответствии с принципом «горизонталь-вертикаль» (уровень или отвес) – ориентация по вертикали.</p>
Реализация прямого угла в технологиях геодезических работ	<p>В качестве основной технологии геодезического обеспечения при решении различных инженерных задач (до середины 2-го тысячелетия) являлся прямолинейно-прямоугольный ход. Его структурной основой были – прямой угол и прямая линия.</p> <p>На каждой станции геодезического хода при его проложении осуществлялись поверки прямого угла и ориентирование по основным направлениям пространства (вертикаль, горизонталь и линии реализации принципа четырех направлений <i>П4Н</i>).</p>
Реализация прямого угла в геометрических построениях на земле	<p>В целях геометрического обеспечения инженерного и храмового строительства в древнее время использовались в основном геометрические прямоугольные фигуры (треугольник, квадрат). Осуществлялось обязательное ориентирования всех геодезических построений основным направлениям в пространстве и времени.</p>
Реализация прямого угла в тригонометрии	<p>Геометрической интерпретации для тригонометрических функций являлся прямоугольный треугольник, построенный в какой-либо четверти окружности единичного радиуса. Эта четверть, как и остальные три, намечались в процессе деления круга двумя взаимно перпендикулярными диаметрами.</p>
Реализация прямого угла в системах координат - координатизация пространства	<p>В основу прямоугольной системы координат был положен прямой угол. При реализации прямоугольных систем координат осуществлялось их ориентирование в пространстве и времени.</p>

Угловых измерений (как таковых) в нынешнем понимании в древнее время не существовало. Все измерения сводились в основном к построению прямого угла и разделялись (по тому времени) на приближенные и точные [81]. В первом случае измерения осуществлялись с помощью всевозможных землемерных крестов, угольников и различных способов с использованием человеческой фигуры [91].

Во втором случае применялся египетский треугольник, в вещественном варианте представлявший собой веревочный шаблон из мерной веревки с метками на расстоянии в 3; 4; 5 единиц длины, в вершинах которых устанавливались колышки. Далее по ним натягивалась веревка, которая образовывала прямоугольный треугольник, у которого при вершине двух катетов получался прямой угол, как показано на рисунке 7. Данный вариант имел наибольшую точность построения прямого угла, которая в большей степени зависела от точности изготовления (нанесения меток) мерной веревки.

ЕГИПЕТСКИЙ ТРЕУГОЛЬНИК

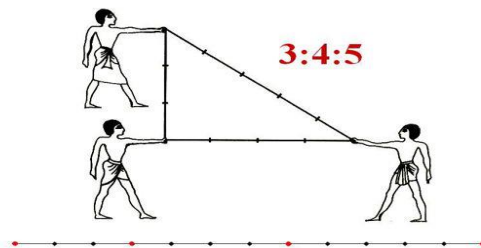


Рисунок 7 – Египетский треугольник

Другой вариант точного построения прямого угла (циркульный) был в большей степени теоретическим способом построений, и был основан на получении вписанного в окружность прямого угла, стороны которого опирались на концы диаметра (рисунок 8). Для получения прямого угла нужно было провести полуокружность, на которой взять любую точку и соединить ее с концами диаметра. При вершине, противолежащей диаметру получившегося треугольника, образовывался прямой угол [75].

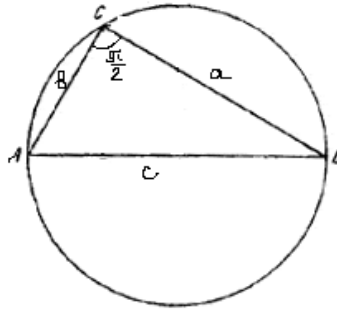


Рисунок 8 – Циркульный метод построения прямого угла

Проложение хода. При проложении ходов требовалось построение прямого угла. Например, на какой-либо выбранной стороне хода AB в намеченной точке требуется построить прямой угол (рисунок 9). Первоначально на основании отрезка AB строился равнобедренный треугольник с боковыми сторонами, равными радиусу окружности, а затем в эту окружность вписывался прямой угол. Ну а третьей точкой (вершиной) для этого треугольника являлась точка O , как центр окружности. Далее на продолжении в направлении AO откладывался отрезок OC , равный радиусу R . В этом случае отрезок AC является диаметром этой окружности, в которую вписан прямой угол ABC . Сторона BC , естественно, является перпендикуляром к линии AB . Если точки B или C являются крайними точками хода, то в них имеется возможность всегда построить прямоугольный треугольник, необходимый для решения той или иной какой-либо инженерной задачи, как это показано, например, на рисунке 9 [78].

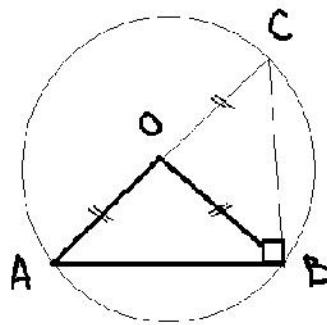


Рисунок 9 – Построение прямоугольного треугольника
при проложении хода

Следует отметить, что способы, связанные с египетским треугольником и циркульным методом, послужили средством для получения образцовых мер построения прямого угла. Именно на их основе получали рабочие меры, в частности, различные землемерные кресты [31] и т. п.

В морской навигации и военном деле, в период средневековья, достаточно часто использовался так называемый жезл Якоба [65]. В этом приспособлении, применявшемся при измерении расстояний и углов, также был реализован принцип прямого угла. Принцип действия данного прибора, не утратившего своего значения вплоть до XX века, заключается в следующем (рисунок 10). Для измерения угла, под которым виден заданный объект, применяются свойства подобных треугольников, а именно у таких треугольников углы попарно тождественны, а сходственные стороны соразмерны. Из рисунка видно, что длина отрезка $1/2 \cdot AB$ равна длине отрезка AM , а тот в свою очередь равен $XT \cdot OM / OT$ или $OM = OT \cdot AM / XT$. Таким образом, если известны отрезки OT и XT , то можно определить длину отрезка AM при известном OM или, наоборот, вычислить длину OM – по измеренному или известному отрезку AM .

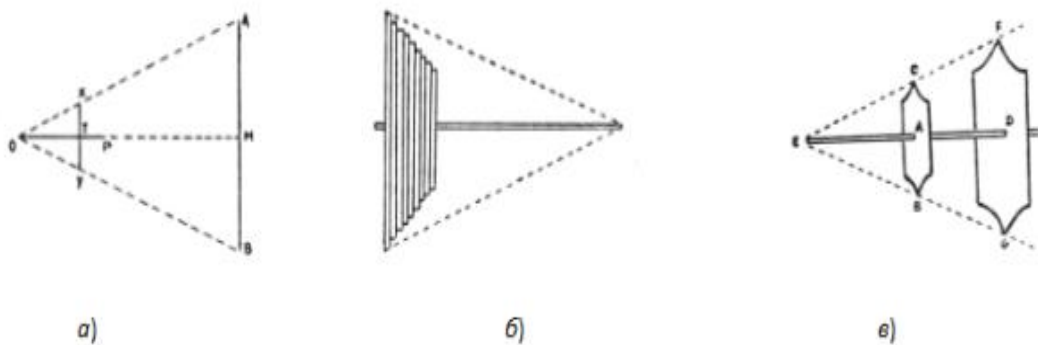


Рисунок 10 – Жезл Якоба: а) принцип жезла Якоба; б) жезл Якоба, использовавшийся моряками; в) схема жезла Якоба

В зависимости от характера применения этого метода отрезками XU и XT могли являться: жезл Якоба, известные длины реек или вытянутая рука с пальцами. Жезл изготовлялся из твердых пород деревьев или слоновой кости. Приспособление состояло из стержня длиной порядка от 74 до 87 см квадратного

сечения (от 1,4 до 1,7 см). Каждая грань имела деления. На стержень надвигались движки разных размеров, позволявшие измерять углы между двумя светилами, высоту сооружения и т.п.

В решении различных землеустроительных задач и задач по созданию различных сооружений, в том числе инженерно-технических, в системе геодезических построений в основном использовались всего несколько главных фигур: прямой угол, прямоугольный треугольник, прямоугольный четырехугольник и квадрат.

Прямой угол. Как было отмечено выше, прямой угол составляет геометрическую основу *ПВГ* и *П4Н* и является универсальным мировым стандартом, заложенным в человека, в природу и взаимодействие различных физических сил.

Для реализации прямого угла в геодезических работах использовался угольник. Нивелирование с применением вертикальных реек или ватерпасов широко применялось с древнейших времен вплоть до XX века. В различных системах координат, использовавшихся с древнейших времен, их основу составляли две взаимно перпендикулярные (координатные) линии: начальный меридиан и экватор (декуманус максимум и кардо максимум).

Построение прямого угла на местности было возможным с глубокой древности с помощью ранее описанных различных вариантов. В Средневековье и в более позднее время применялись землемерные кресты различных видов и формы, в том числе экеры. В построении прямых углов использовались героновские диоптры, а также астрономические методы и устройства. Во всех видах построений точность построений была невысокой (около $\frac{1}{4}$ градуса), но в особых случаях (как при сооружении египетских пирамид), достигала величины порядка 3 минут [81].

Следует отметить, что в глубокой древности еще до использования инструментов люди могли проводить межевание с помощью фигуры человека [82]. Так, например, человек вставал в вершине первого угла. По направлению створа плеч строилось одно направление, а по прямому взгляду –

перпендикулярное ему направление. В одном из этих направлений человек шагами измерял нужное расстояние. Затем в другой точке операция повторялась. Такая реальность, возможно, предшествовала появлению первых геодезических инструментов [57].

Точность построения прямого угла подобным способом, в соответствие с логистическим законом, находилась в пределах от 10^{-1} до 10^{-2} . Проведенные эксперименты (в период с 2013 по 2014 гг.) по построению прямого угла с использованием фигуры человека подтвердили этот результат (расхождение от 1° до 3°).

Прямоугольный треугольник. Прямоугольный треугольник представляется структурным продолжением прямого угла. Эта фигура и ее материальные реализации, в том числе в веревочном варианте, находили самое разнообразное применение. Так с помощью подобного построения треугольника Фалес определял расстояние до корабля. Иногда это построение считают открытием триангуляции [60]. Фалес Милетский (является первым известным в истории математиком и одним из семи древнегреческих мудрецов согласно историческим источникам), будучи в Египте, использовал условие подобия прямоугольных треугольников для решения задач по определению высоты Гизехских пирамид. Он утверждал, что как только его тень станет равной длине (высоте) его фигуры, в это время нужно измерить длину тени пирамиды, которая будет равна ее высоте, что показано на рисунке 11 [91, 103].

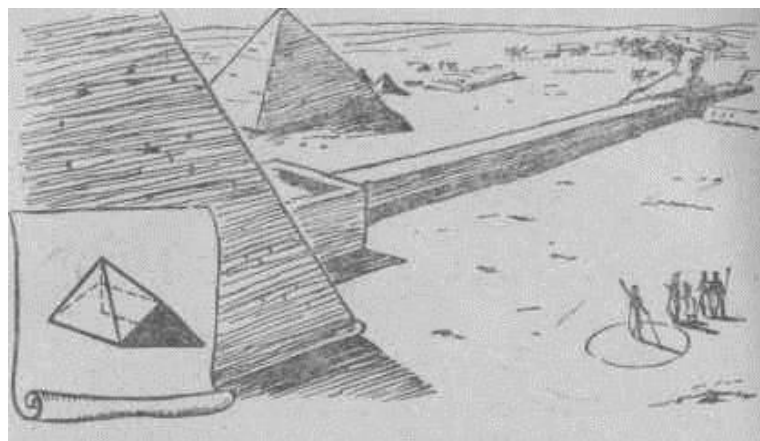


Рисунок 11 – Измерение высоты пирамиды

Реализация 17 Героновских задач [66] в большинстве случаев была возможна с применением прямоугольного треугольника. Следует отметить, что с помощью прямоугольного треугольника простейшим способом определялись длины катетов, гипотенуза и площадь треугольника. Египтяне еще в 3-м тысячелетии до н. э. определяли эту площадь по известной формуле половины произведения двух катетов.

Открытие Пифагором доказательства теоремы было значительным событием для теоретической и практической геометрии, а также для хозяйственной действительности. Следует отметить, что формула Пифагора по существу определяет и характеризует метрику окружающего (евклидова) пространства. А такие фигуры, как прямоугольный четырехугольник и квадрат, что было отмечено выше, получили свое раннее применение при планировке отдельных сооружений и, особенно, в землеустройстве, межевании, земельном кадастре. Ввиду простоты формулы подсчета площади квадратного участка, эти фигуры получили повсеместное распространение в Египте, Вавилоне и др. странах и стали своего рода стандартом.

Прямоугольный треугольник использовался в древнем Риме и других странах при проектировании водопроводов, каналов и городской канализации. Наклон стока воды в акведуках и в других подобных устройствах задавался стандартным уклоном (1 : 200). Вместе с тем для подсчета площади прямоугольного треугольника использовалась формула (5)

$$S = \frac{1}{2}ab, \quad (5)$$

где S – площадь;

a, b – соответствующие прямоугольные катеты.

Возможно, что данное выражение было известно еще с того времени, когда люди изобрели формулы для подсчета площади квадрата и прямоугольного четырехугольника (как их половину). В плане исторического времени это уже

совпадает со временем деления земельных угодий и их оценки (не позднее 3-го тысячелетия до н. э.).

Важнейшим фактором для широкого использования прямоугольного четырехугольника является его универсальность и оптимальность, а также его преимущество перед другими формами при разбивке, планировке сооружений, городов, земельных угодий и т. д. Необходимо заметить, что данная фигура в большей степени отвечает использовавшимся формам координатизации пространства.

2.2 Координатизация окружающего пространства

Если информацию о ФРПП представить в виде геопространственных данных (ГПД), то геодезию в простейшем варианте можно интерпретировать как науку о ГПД или как систему знаний, занимающуюся определением и моделированием геопространственных данных, а также контролем их изменений во времени. Следует отметить, что, формулируя категорийное понятие какого-либо направления развития, в определении должна отсутствовать конкретность, например, в виде сочетания терминов «фигура Земли», «гравитационное поле», «метод гравитации» и т. д. Подобная конкретность исключает преемственность и непрерывность в системе развития геодезических знаний. В определении должно присутствовать прошлое, настоящее и какая-либо часть будущего, т. е. определение не должно противоречить или отрицать прошлое и должно отвечать основному направлению развития. Именно предметное существо геодезической науки должно составлять ее общий стержень технологического развития [73; 74; 75].

Вопросы координатизации окружающего пространства всегда были неотделимы от проблемы его организации, поэтому все историческое время можно охарактеризовать решением задач, связанных с этими проблемами. При этом конкретное содержание геодезической системы знаний всегда было наполнено решением соответствующих задач и проблем, соотносимых со своей

исторической эпохой. Вследствие этого в настоящее время геодезию иногда определяют, как науку о координатизации окружающего пространства или, в более широком плане, как науку о координатизации и геометризации окружающего пространства [47; 48].

Отметим, что проблема координатизации на протяжении длительного исторического времени составляла очень важную основу всего развития геодезии. Применительно к формированию методических основ геодезической науки эта проблема и ее реализация опираются на координатный принцип, корни которого идут еще от работ Ферма П. (1636 г.) и Декарта Р. (1637 г.) и который напрямую вытекает из принципов влияния (П4Н, П6Н), т. е. координатизация пространства является основой организации окружающего пространства.

С течением времени фактор координатизации пространства приобретал все большее значение, и в настоящее время он является важнейший фактором развития предопределенности геодезии. Так, принципы влияния, как было отмечено ранее, составляют основу всеобщей прямоугольности, а координатный принцип, опирающийся на дополнительное условие прямоугольности, лежит в основе всех используемых в геодезии систем координат.

В геодезической системе координат ориентирование осуществляется по оси вращения Земли, по гринвичскому меридиану, в соответствии с правилом дополнения до правой или левой системы координат. В принципе влияния «вертикаль-горизонталь» ориентирование является принудительным, основу которого в древнее время представлял уровень воды или отвес (вертикаль или горизонталь); для принципа влияния П4Н подобный выбор уже увеличивался в 2 раза: человек мог повернуться на север, восток и т. д.

Все геодезические системы координат (по Машимову М.М.) подразделяются на два вида: полярные и прямоугольно-прямолинейные [48]. Как в первом, так и во втором случае все системы координат содержат прямой угол – так как координатные плоскости и линии располагаются под прямым углом. Вновь подтверждается ранее сделанный вывод, что значимость прямого угла (ортогональности) не уменьшается, а только возрастает с течением времени.

Любой из геоструктурных элементов или их совокупность могут служить ориентиром при определении пространственного положения того или иного объекта, следовательно, этот элемент или их совокупность представляют собой некую систему координат. Так, например, в качестве систем отсчета и ориентации использовались объекты окружающего мира. В качестве примера можно привести следующий. Одной из подобных систем являлось место постоянного местожительства человека, т. е. среда его обитания. Так, например, в римской империи все дороги были разделены мильными столбами, а в центральной части Рима (на форуме Августа) был сооружен золотой миллиарий, который был принят за начальную точку отсчета. Подобные системы ориентации, а также намеченные и закрепленные на местности в этих целях точки являлись в качестве основы для организации времени и пространства и по существу являли собой на то время первую древнюю систему координатизированности пространства.

Названные выше принципы влияния «вертикаль-горизонталь», П4Н, П6Н образуют плановую систему координат и систему высот, которые взаимосвязаны в единой системе организации пространства. Эти системы координат заданы на Земле изначально природой и предопределяют поведение людей, пространственную организацию и формируют вторичную среду. При этом следует заметить, что окружающее нас физическое пространство можно всегда интерпретировать как проявлением той или иной особенности или охарактеризовать его определенным свойством. В этом случае высказанное подобное предположение уже именуется в виде определенного названия: обжитое, пустое, естественное и т. д. А для любого человека, как и для любого большого социума людей наиболее значимой является информация, характеризующая местоположение тех или иных объектов, но тогда подобным образом охарактеризованное пространство можно интерпретировать понятием координатизированности, а это обязательно подразумевает наличие какой-либо системы координат или координатной основы. В нашем случае координатизацию уже возможно назвать процессом, который характеризуется определенным уровнем координатизированности пространства. Однако в этом случае

координатизация, как протекающий в определенной направленности процесс, являет собой взаимосвязанную последовательность по производству тех или работ, включая и геодезические, для установления в существующем пространстве той или иной системы координат, а также наличие определенной совокупности опорных точек – носителей системы координат. Если в подобном существующем пространстве установлена какая-либо система координат и сформирована определенная совокупность опорных точек как носителей координат сформированной подобным образом системы, то существующее пространство считается координатизированным [88]. Отметим еще одну особенность, а именно, что в доисторическую эпоху пространственные характеристики не зависели от времени, и только на 4-м этапе координатизации пространства к геометрическим характеристикам пространства добавилось время.

Понятие систем координат в последние десятилетия XX века получило более расширенную интерпретацию. Так, в нынешней интерпретации под системами координат понимается определенная совокупность классов «дат» (начальных значений), при этом каждый класс «дат» может включать в себя в себя различные «даты»: геодезические, плановые, высотные и инженерные, которые характеризуют местоположение начал координат, задают выбранный при необходимости нужный масштаб и осуществляют ориентирования осей относительно Земли [45]. Подобные классы для систем координат могут включать: типы систем координат (декартовы, картографические, геодезические), а также способы или методы соотнесения точек координат к полю силы тяжести Земли. Под координатными операциями в данном случае понимается непосредственный переход от одной систем координат к другой или переход между «датами».

В процессе строительства городов, храмовых комплексов, при нарезке земельных угодий определение пространственного положение объектов осуществлялось в процессе планировочно-геометрических построений на местности, создавая при этом прямоугольно-прямолинейные ходы (начиная с 4-3-го тысячелетий и до н. э.). Эти построения осуществлялись путем разбивки на

местности прямоугольных треугольников и четырехугольников. Подобно этому изначально в древнее время осуществлялось разделение окружающего пространства: например, города по территории разделялись на кварталы, а земельные угодья – путем нарезания на квадратные участки и т.п.

Для построения и разбивки на местности простейших геометрических фигур использовались простейшие для того времени расчеты, на основе использования существующих геометрических правил. При этом заметим, что координатный метод на то время еще не получил своего признания; а координаты точек на местности намечали в процессе двойной нумерации земельных участков. Координатный метод получил свое право на реализацию с публикацией основных положений аналитической геометрии и введением в обиход при решении инженерных задач на местности прямоугольной системы координат (Декарт Р.), а также в связи с реализацией геодезических построений в виде триангуляционных сетей (тригонометрических сетей) [23; 52].

Для целей межевания и строительства городов применялась прямоугольная планировка. Системы координат городов и земельных участков представляли собой уже координатизированное пространство, а также служили системами отчета и ориентации. Так как уровнем и степенью координатизации можно характеризовать размер заданного пространства, число координат и точность построения осей, то в процессе жизнедеятельности человека организованное пространство исторически характеризовалось ростом размерности от единицы до 4-х [88].

На Земле все живое живет и развивается в процессе организации места своего обитания. Подобная организация места обитания предполагает наличие вполне определенной линии (границы) и оси (либо осей) для ориентации. В построенном пространстве намеченные опорные точки являются одной из координат от намеченного центра или расстоянием, характеризующим удаление от места обитания. Вполне логично предположить, что принятая система координат в данной координатизированной системе может быть реализована в виде принятой за основную главной оси координат (ориентация) и выбранным

начальным центром этой системы (место обитания), а намеченная совокупность всех опорных точек служит для целей определения расстояния (удаления) от центра. При этом вновь следует подчеркнуть, что выбранная в качестве ориентира ось координат изначально задана самой природой, а потому в соответствие подобным ориентиром человек сам преобразует свою среду обитания (вторичную среду).

Задача организации пространства тесно связана с его координатизацией и наоборот. Начало координатизованности пространства можно соотнести с доисторическим временем, с начальным (первым) организации пространства. На следующем (втором уровне) организации пространства (двумерное пространство), координатизация пространства характеризуется уже двумя координатами – меридиан и экватор (начиная примерно с 1-го тысячелетия до н. э.), а полученная в результате астрономических наблюдений система координат была уже географической (В, L); применялась простейшая на то время система ориентации, а специальные геодезические измерения (в плане координатизации пространства) не проводились. И только в 1-м тысячелетии до н. э. начинаются первые измерения в пределах государства. Двумерная координатизация пространства позволяла определять местоположение точек, линий и их положение с помощью геометрических построений. С этого времени началось развитие прямоугольно-прямолинейных ходов. На данном уровне развития человек создавал свою ойкумену путем строительства городов и поселений с соответствующей инфраструктурой.

На третьем этапе развития геодезии (с XVIII по XX вв.) все вопросы, связанные с созданием различных систем координат реализовывались уже на новом научном уровне – по условиям их реализации и применения, более совершенным методам их создания, применяемым в этих целях измерительным системам и т. д. Так, например, чтобы наметить начальный пункт, осуществлялись комплексные астрономические, геодезические, а впоследствии и гравиметрические наблюдения. Далее в процессе математической обработки результатов комплексных наблюдений находились и устанавливались

фундаментальные постоянные; а в последующем на их основе фиксировались начальные «даты» для дальнейшего выбора и формирования глобальных систем координат. Данный период в формировании координатизации пространства производился уже на основе более эффективного геодезического метода построения сетей триангуляции. В построенных на основе данного метода сетях триангуляции на территории больших по площади стран (например, Франция) количество построенных на местности треугольников достигало сотни, а иногда и тысячи. Процессы производства угловых и линейных измерений реализовывались с использованием новых для того времени измерительных систем, т. е. формирование процесса координатизации пространства производился путем построения на местности геодезических сетей на основе реализации линейно-угловых измерений. В процессе выполненных геодезических построений на местности создавалась сеть треугольников, в вершинах которых устанавливали специальные знаки, принимаемых за опорные пункты с известными координатами в принятой системе координат, и которая служила геодезической основой для конкретной территории. Одновременно построенная геодезическая основа служила и координатной основой. Построенная таким образом геодезическая сеть служила основой для производства на данной территории топографических съемок, была призвана решать на ее основе все возникающие инженерно-геодезические задачи. Следует отметить, что начиная с момента становления и формирования топографического и геодезических методов (XVII в.) и на протяжении практически 3-х столетий (включая XX в.) формировалась новая топографо-геодезическая парадигма.

Конец XX века можно считать временем наступления геоинформационной парадигмы. С этого момента можно считать начался уже современный этап координатизации пространства, основным признаком которого можно считать наличие глобальной общеземной системы координат. Носителем координат для данной системы является сеть наземных фундаментальных астрономо-геодезических пунктов (ФАГС), пунктов спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1), высокоточной геодезической сети (ВГС) и т. д. При этом заметим,

что каждый последующий этап в процессе структурирования научных теоретических и практических знаний разнится от предыдущего существенным скачком, примерно на 2 порядка в точности в области измерений, а также в процессе производительности труда. Созданная на основе новой концепции (повсеместного перехода на спутниковые методы определения координат) современная геодезическая основа базируется на системах позиционирования GPS, ГЛОНАСС и представляет собой новую ступень организации пространства. Можно считать, что с началом XXI века наступила эпоха (по историческим меркам) глобальной координатизации пространства, Подтверждением этому служит наличие на службе у человечества глобальных систем координат СК (СК-95, ПЗ-90 и WGS-84) и уникальных возможностей систем позиционирования GPS и ГЛОНАСС. При этом последующие совершенствования связаны с дальнейшим повышением точности глобальной системы координат ГСК-2011 примерно на порядок в сравнении с СК-95, и почти на два порядка в сравнении с СК-42. В плане дальнейшего развития ГСК-2011 необходимо совершенствовать систему ФАГС, как ее основу [45; 46]. Что же касается совершенствования всего комплекса средств измерений, то существует необходимость применения как минимум лазерных спутниковых дальномеров, а в перспективе – и транспортируемых систем. И если на базе существующей глобальной системы координат имеется возможность обеспечить координатами все точки окружающего нас пространства в режиме реального времени. И вполне очевидно, что в течении нескольких последующих десятилетий будут решаться вопросы совершенствование данной глобальной системы в области точности, оперативности выполнения работ и т. д. [59].

2.3 Роль геодезии в организации окружающего пространства

В древние времена философы Древней Греции стали использовать своим обиходе два на наш взгляд таких важнейших категорийных понятия, таких как геометрия и геодезия. Интерпретация и смысл этих важнейших понятий

соответствовал для того времени процессам землемерия и землеустройства. По существу, они являли собой две важнейшие функции организации окружающего нас пространства: процессы разделения и измерения земельных угодий и территорий. Изначально в процессе осуществления земледельческих работ закладывалась основа в организации земельного пространства, а именно в процессе его разделения и выполнения необходимых измерений на земле. Ранее было отмечено, что в основе организации подобной системы земледелия и землеустройства лежала используемая в то время система межевых линий, предусматривающая процесс разделения территорий на отдельные участки путем разбиения на местности простейших геометрических фигур. В процессе подобных разбиений все измерения на земле сводились к установлению и определению формы, размеров и пространственного положения этих участков или местоположения их в определенной совокупности. Подобные измерения по существу и отражали собой сущностную сторону для формирования структуры такого предмета, как геодезия древнего времени.

С самого начала строительства городов и храмовых комплексов в процессе планировки и организации городского пространства нашли применение все те же известные геометрические принципы (деление окружающего нас пространства с помощью простейших фигур, наземные измерения на поверхности). На этих начальных этапах организации пространства (формировании вторичной среды) начали формироваться первичные абстрактные образы (геоструктурные элементы – линии, точки, поверхности) и самые простейшие геометрические фигуры: прямой угол, квадрат, прямоугольные треугольники и четырехугольники. Эти простейшие фигуры заложили первые абстрактные понятия как прямоугольность в организации окружающего пространства, особенно в строительстве и земледелии [100; 103] и создали предпосылки для формирования условий предопределенности развития геодезической науки.

Как было отмечено ранее, в процессе становления и развития геодезии, наиболее важную и решающую роль сыграли два принципа влияния: принцип «вертикаль-горизонталь» и принцип «четырёх направлений». В основе каждого

принципа в качестве основного геоструктурного элемента заложен прямой угол. Ранее было отмечено, прямой угол является общепризнанным мировым стандартом в процессе формирования геометрических свойств окружающего нас пространства, а именно – уникальных свойств вертикальности, горизонтальности, перпендикулярности и параллельности. При этом утвердительно можно заметить, что большинство первоначальных познаний, включая и новые понятия в терминологии в геометрии (землемерии) в основном обязаны прямому углу и прямой линии. Также можно отметить, что именно на базе сформированных принципов влияния «вертикаль-горизонталь» и «четырёх направлений» протекал процесс структурирования теоретических знаний, формировались процессы производства геодезических работ, т. е. складывался весь комплекс становления системы знаний в процессе технологического развития геодезии применительно к научной, хозяйственной, культурной и другим видам деятельности человека. При этом можно констатировать, что при всем многообразии и разносторонности геодезической деятельности прямой угол всегда оставался наиболее важным геоструктурным элементом в процессе реализации вышеназванных принципов влияния, являясь при этом тем самым необходимым и важнейшим стержнем для дальнейшего совершенствования человеческой деятельности. В тоже время, оба вышеназванных принципов влияния, изначально заложенные природой в человеческую фигуру, помогали людям реализовывать решение многих геометрических задач в процессе их практической деятельности, используя при этом уникальные свойствами «прямоугольности» фигуры человека. Необходимо заметить при этом, что достигнутая точность в этом случае была невысока (от 10^{-1} до 10^{-2}), но и данной точности измерений было достаточно для производства большинства инженерных видов работ той эпохи. Можно также предположить, что еще с момента конструирования самых первых геодезических инструментов, например, таких как землемерный крест, ватерпас, человек вполне мог обходиться особенностями строения своей фигуры для процесса производства на земле всех геометрических построений, а также в процессе ориентирования в окружающем пространстве. И только в более позднее время, примерно начиная с

4-3-го тысячелетия до н. э., когда активно начался процесс строительства городов и храмовых комплексов, производилось межевание земель, у человека возникла насущная потребность в повышении точности геодезических измерений на земле, которая превысила бы существующую на 1-2 порядка (от 10^{-2} до 10^{-4}). Именно в это время и назрела потребность и в появлении первых геодезических инструментов, таких как ватерпас и землемерный крест, с использованием которых человек мог разбивать и строить на земле простейшие прямоугольные фигуры.

Активное строительство городов и храмовых комплексов, межевание земель создали для человека все условия для создания вторичной среды обитания. С вновь возникшими обстоятельствами назрела необходимость в планировании возводимых инженерных сооружений, а, следовательно, возникла и насущная потребность введения в практику строительства таких абстрактных понятий, как, например: линия, плоскость, поверхность, прямой угол и т.п.. Применяя их в своей повседневной инженерной деятельности, а также используя свое собственное воображение, человек смог осуществлять на земле разбивки в виде простейших геометрических фигур и в первую очередь прямоугольных. Примерно к этому времени, на наш взгляд, сформировались первоначальные знания о наиболее важных, с точки зрения их практического применения, геометрических свойствах окружающего пространства, особой роли линий и плоскостей в этом пространстве, в процессе формирования таких важнейших геометрических свойств как: вертикальность, горизонтальность, перпендикулярность, параллельность. И вновь процесс ориентирования в пространстве осуществляется в результате проявления двух принципов влияния: «вертикаль-горизонталь» и «четырёх направлений», в основе реализации которых особая роль принадлежит прямому углу.

Таким образом, введение в обиход такого категорийного понятия как прямой угол и реализация его практически во всех геометрических построениях на земле, признание всеобщей прямоугольности окружающего мира, по существу и составили фундаментальную геометрическую основу организации пространства

(формирования вторичной среды) в процессе жизнедеятельности людей. А возможность накопления новых знаний в области теории и практики геодезической науки по праву стало являть собой стержень развития и прогресса в области геометрии (землемерии).

Линия – это один из структурообразующих (или можно утверждать системообразующих) элементов, используемых для построения различных фигур в геометрии. Еще в древнее время при формировании и построении на земле простейших геометрических фигур была растянутая веревка. Она и послужила за основу при формировании и простейших геометрических понятий.

Еще в начале своего исторического пути в процессе становления и развития геодезической науки осуществлялись попытки по определению формы и размеров различных объектов на земной поверхности и их пространственному положению. И подобных примеров достаточно. Так, например, человек с помощью натянутой мерной веревки проводил не только нужные ему измерения, но и мог разбить на земле прямую линию, прямой угол, а, следовательно, и произвести разбивку на местности прямоугольных фигур в виде треугольников, квадратов. В результате производства подобных разбивок появилось умение в разбивке прямолинейно-прямоугольных ходов на местности, и навыки в ориентировании всех геометрических построений на земле. Помимо этого, в процессе выравнивая площадок со значительными уклонами, т. е. контролируя горизонтальность площадки натянутой веревкой со стороны третьим лицом, производился процесс нивелировки местности (известно, что так производили выравнивание площадок еще в позднее Средневековье).

Вновь отмечая основополагающую значимость прямого угла в процессе становления и формирования геодезических знаний, можно убедительно заявить о том, что именно с понятия прямого угла для того времени стали первоначально формироваться различные геометрические знания. Можно предположить, что еще в далекой древности, вполне вероятно, именно на основе принципов влияния (ориентации) люди первоначально смогли сконструировать макет прямого угла, например, угольник различных размеров в деревянном или каком-либо другом

исполнении. Так, при раскопках в Египте, например, были обнаружены артефакты подобные образцам угольников [81].

Основываясь на всех представлениях и объяснениях о существующем феномене прямого угла, можно было бы считать все это лишь только интересным историческим фактом и не более, однако, с точки зрения исторической целесообразности объяснения технологического развития геодезической науки, связности времен и логики эволюции развития человечества, вряд представляется возможным отрицать подобную роль прямого угла как сквозного связующего звена на всем пути развития научно-технического прогресса. И наконец, последнее, существующая в настоящее время система геодезических координат - это реализация принципа «шести направлений (П6Н)», который является основой в структуре всех существующих знаний в области теории и практики выполнения геодезических работ.

И как итог о важности феномена прямого угла, приведем в заключение выражение: «прямой угол – константа развития», представляющий собой фундаментальную сущность геодезической науки в процесс ее становления и развития и формирующий ее целостность. Ну, а для всей человеческой цивилизации в рамках реального пространства и времени, можно утверждать, что представленная «константа» по праву способна сохранить за собой актуальное и важнейшее значение и в наши дни. Важность подобного утверждения следует из того, что уникальное свойство прямоугольности лежит в основе не только всей системы геодезических измерений, но и в системе их всестороннего контроля, в системе выполняемых практических расчетов, в существующих системах координат и их преобразованиях, а также в существующей проблеме координатизации окружающего нас пространства [91].

2.4 Методическая составляющая технологического развития геодезии

Процессы, происходящие в настоящее время в современном мире – это глобализация и построение экономики, основанной на знаниях и формировании

информационного общества [16; 22]. Взрывной, постоянно ускоряющийся рост объёма разнородной информации, постоянно возникающие новые научные направления в различных областях знания, быстро изменяющиеся научные приоритеты – все это характерные черты современного общества. И что примечательно, все это происходит в пределах одного человеческого поколения.

Процесс развития науки происходит при его непрерывном ускорении, при лавинообразном появлении и росте новых знаний, и как следствие этого – становление новых научных специальностей, каждое 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 ее 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 20 века сложились свои собственные направления деятельности: геодезия, фотограмметрия, картография, высшая геодезия и инженерная геодезия, каждая из которых имела конкретный предмет и задачи исследований.

Так, задачами геодезии являлись – создание методов и способов отображения земной поверхности на картах и планах; в задачи картографии входили – методы и способы создания карт и планов. Фотограмметрия ставила перед собой задачи создания карт и планов по снимкам и материалам, полученным с летательных аппаратов и наземных приборов; высшая геодезия –

занималась изучением формы и размеров Земли и ее гравитационного поля. В сферу деятельности инженерной геодезии входили задачи разработки оптимальных схем геодезических сетей при строительстве различных инженерных объектов. В тоже время параллельно развивались геодезические дисциплины, связанные с математической обработкой геодезических измерений, уравниваем различных геодезических построений.

Развитие науки и техники, появление новых методов и средств для выполнения исследований приводят к новым открытиям, неизвестным и необъяснимым ранее в науке явлениям, фактам, и которые уже не укладываются в рамки старых представлений. Так, с открытием лазеров в геодезической практике появился целый класс лазерных геодезических приборов: лазерные визиры и указатели направлений, лазерные нивелиры и построители плоскости, лазерные теодолиты и приборы вертикального проектирования, лазерные створофиксаторы и построители плоскости, реализованы контурные построения и т. д. Активно стала развиваться такая геодезическая дисциплина, как геодезическое инструментоведение.

Современная эпоха – это эпоха синтеза новых наук. И если до недавнего времени, по мере углубления наших знаний об окружающем нас мире, наука развивалась по пути дифференциации научных знаний, то сейчас всё более актуальной становится задача синтеза знаний: синтез научных знаний ведет к укрупнению науки, а это является отображением действия *закона интеграции* знаний. При этом процессы дифференциации тесно переплетаются с процессами интеграции, а это неизменно побуждает выявлять необходимые связи между ними. Так, всеобщая «математизация» практически большинства наук, развитие электроники и радиоэлектроники, микропроцессорной и компьютерной техники, современных космических технологий и беспилотных летательных аппаратов позволили выделить в области геодезической науки принципиально новые геодезические дисциплины, связанные с методами дистанционными изучения Земли и объектов на ней с использованием геопространственных данных, их хранением в виде электронных баз данных, математическим моделированием

деформационных процессов земной поверхности и инженерных сооружений на ней, геодинимическими исследованиями техногенных объектов и т. п.

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 обрастает новыми знаниями, методами исследований, открытиями – все это является проявлением *закона кристаллизации* знаний.

Результат проявления действия всех этих законов, представленных ранее на рисунке 1, представляет методическую основу при формировании 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, космическая геодезия); по смежному признаку (геодезическое инструментоведение, автоматизация геодезических измерений, математическая обработка геодезических измерений, геодинамика, оптическое и оптико-электронное приборостроение и т. д.); стыковых дисциплин, изучающих Землю (физика Земли, геофизика, геология, геоморфология, океанология и климатология и др.). 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 современного общества.

Применительно к технологическому развитию геодезической науки можно выделить три основных принципа влияния, оказывающих наибольший вклад в

развитие новых технологий и системы геодезических измерений. В своей совокупности они составляют методологическую основу геодезических измерений и в целом определенной технологии. Это принцип вертикаль-горизонталь (ПВГ) – природного происхождения, принципы 4-х и 6-ти направлений (П4Н, П6Н) – антропоного происхождения.

Рассматриваемые принципы влияния формируют цивилизационные принципы: прямоугольности и координатный принцип. Так, в таблице 7 представлены области применения принципа прямоугольности в процессе технологического развития геодезии.

Таблица 7 – 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 тысячелетия) 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 (координатизация пространства)	За основу прямоугольной системы координат принимался прямой угол; а при построении прямоугольных систем координат выполнялась их ориентирование в пространстве и времени.

А разработка электронных тахеометров и систем глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС в полной мере позволили реализовать *координатный* принцип.

Образованные в процессе становления геодезии новые направления развития геодезической науки, новые геометрические схемы геодезических построений являются основой для конструирования и реализации новой геодезической техники при переходе от эпохи технологической к эпохе.

А понимание этого процесса развития составляет основу технологического прогнозирования и дает возможность оценить развитие геодезической науки, как с научной, так и с методической точек зрения [82].

Методические основы технологического развития геодезии представлены на рисунке 12.

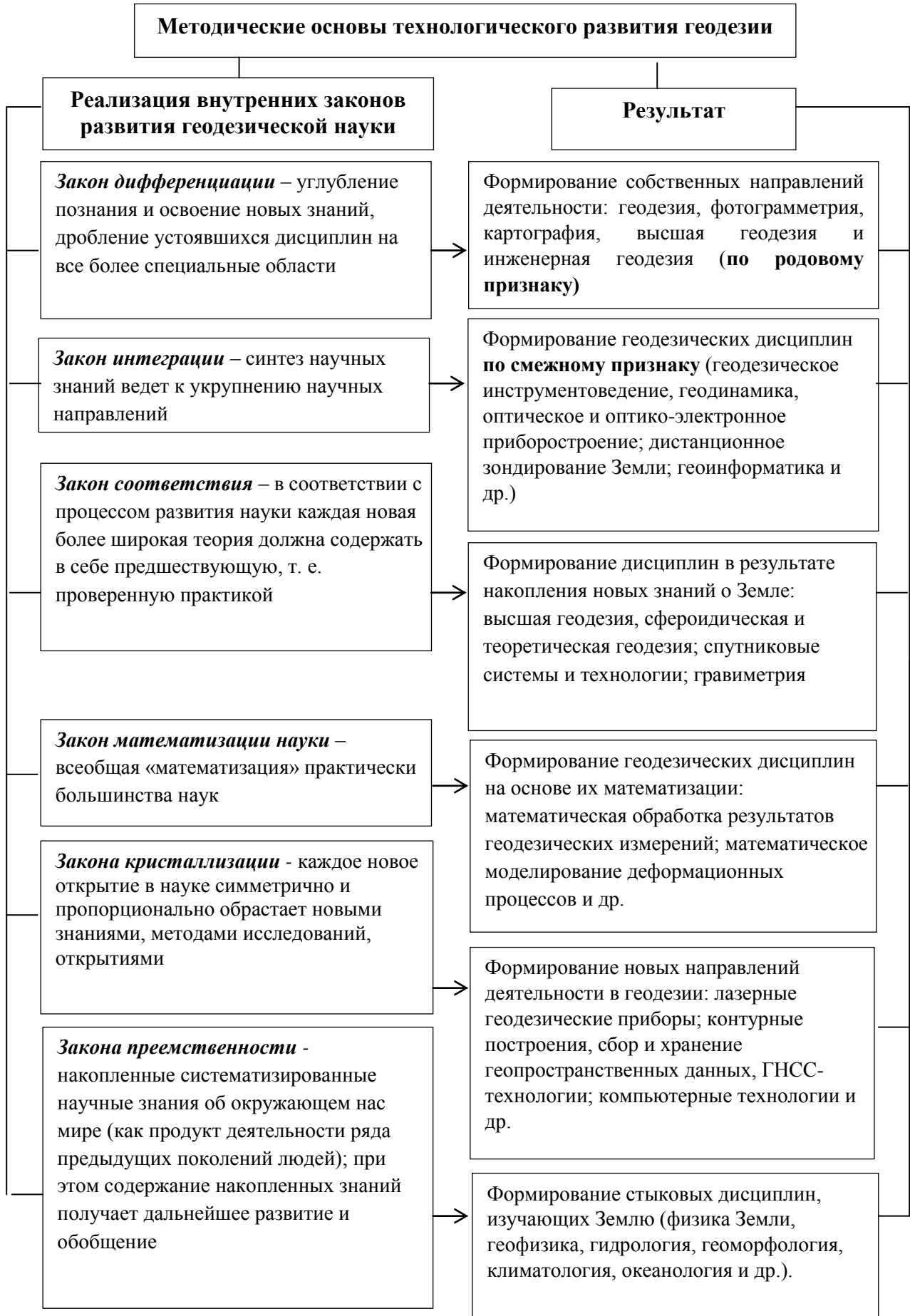


Рисунок 12 – Методическая составляющая технологического развития

2.5 Выводы по второму разделу

Сформирована методическая составляющая технологического развития геодезии как результат проявления внутренних законов развития науки: характерных для большинства научных направлений.

На становление геодезии определяющую роль оказали два принципа влияния – вертикаль-горизонталь (ПВГ) и четырех направлений (П4Н); в основу которых составляет важнейший геоструктурный элемент – прямой угол, как «константа развития», представляющий собой фундаментальную сущность геодезической науки в процесс ее становления и развития и формирующий ее целостность. Отмечено, что он представляет мировой стандарт в системе формирования геометрических свойств окружающего пространства – вертикальности, горизонтальности, перпендикулярности и параллельности,

Применительно к технологическому развитию геодезической науки выделены три основных принципа влияния, внесших наибольший вклад в развитие новых технологий и системы геодезических измерений. В процессе исследований выявлено, что принцип вертикаль-горизонталь (ПВГ) – природного происхождения, принципы 4-х и 6-ти направлений (П4Н, П6Н) – антропоного происхождения в своей совокупности составляют методологическую основу геодезических измерений и в целом определенной технологии. Они формируют цивилизационные принципы: прямоугольности и координатный принцип.

3 ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗЕМЛИ

3.1 Исторические сведения о формировании геодезии древнего времени

Вопросам геодезических измерений в древнее время практически не уделялось какого-либо внимания. Лишь отдельные фрагменты по данной тематике, в частности, по устройству отдельных геодезических инструментов, методы и описание решенных инженерных задач иногда встречаются в ряде исторических работ (письменных и археологических), таких как трактаты, описания, заметки. Тем не менее, полного и достаточно цельного представления о геодезических измерениях древнего времени нет. Наиболее интересны в наших целях такие исторические работы как:

- Марк Витрувий Поллион (сер. I в. до н. э.) «Десять книг об архитектуре» [9];
- Герон Александрийский (ок. I в. н. э.): «Метрика» и «Диоптра»;
- китайский трактат «Чжоули» (III в. до н. э.);
- индийский трактат «Артхашастра» (III в. до н. э.).

Кроме вышеназванных источников описание и упоминание о древних инструментах встречаются в отдельных исторических работах авторов-историков более позднего времени. Первые упоминания об астрономических измерениях, инструментах и выполненных работах, связанных с описанием географической системы координат представлены у Гиппарха (около 190–120 гг. до н. э.). Исследования по вопросам, связанным с географией, картографией, астрономией и градусными измерениями приводятся в работах Эратосфена (около 275–194 гг. до н. э.) и Клавдия Птолемея (около 100-178 гг.). Частные геодезические сведения [2] приводятся в работе Аристотеля (384-322 гг. до н. э.). Отдельные вопросы о проведении геодезических работ в области градостроительства рассматриваются в трактате Витрувия [9]. Его «Десять книг об архитектуре» представляют собой

энциклопедию технических наук, в которых перечислены не только те науки, о которых должен был знать архитектор, но и все области строительства проработаны и подтверждены доказанными научными знаниями.

Практическая геометрия и геодезические работы представлены в трудах Герона Александрийского, созданные в I в.: «Диоптра» и «Метрика». Именно во времена эллинизма наблюдался наиболее высокий уровень развития геометрии, а также геодезии, без которой было бы невозможно создание ряда выдающихся сооружений древнего времени. Его работы в области математических Герона общепризнанны энциклопедией античной прикладной математики наук.

В труде «Диоптра» Герон дал описание таким инструментам, как диоптра (прототип теодолита), нивелир и рейки, схематичный вид которых показан на рисунке 13. Представлено описание методов геометрических построений и приведены отдельные формулы; перечислены известные 17 задач [65]. По существу, эти задачи представляют собой реализацию ряда теорем «Начала» Евклида.

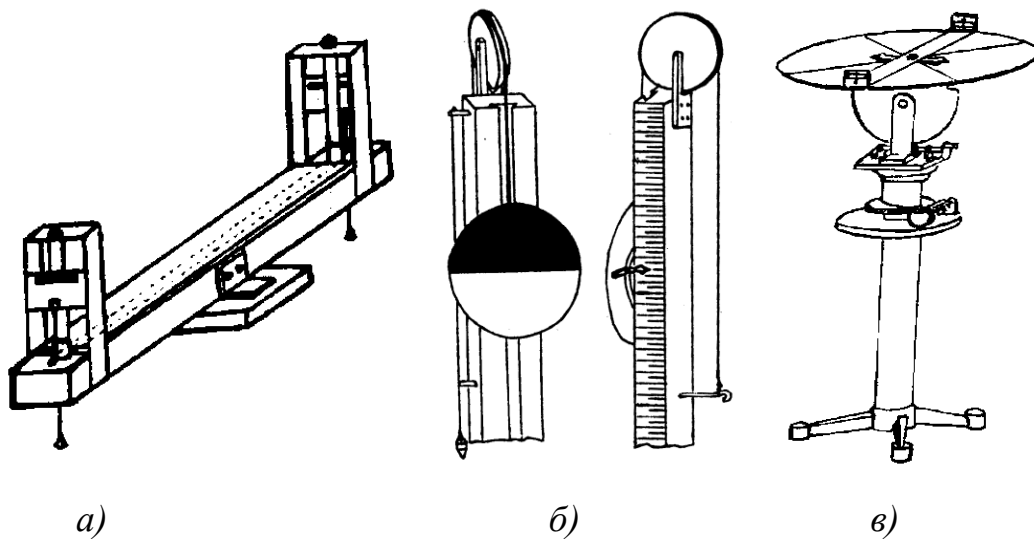


Рисунок 13 – Геодезические инструменты древнего времени: а) диоптра;
б) рейки; в) нивелир

С их помощью можно было решить практически любую поставленную задачу, с какой могли встретиться греки, а позднее римляне. Кроме того, в

«Диоптре» изложены начальные правила земельной съемки, фактически основанные на применении прямоугольной системы координат. В своих работах Герон представил основные достижения античного мира в области прикладной механики; ряда приборов и автоматов, например, прибора для измерения протяженности дорог (таксометр), водяные часы и др.

В «Диоптре» и в «Метрике» приведены формулы приближенные и точные. В работе «Метрике» представлена известная формула Герона для подсчета площади треугольника по измеренным сторонам; дано определение шарового сегмента; представлены общие правила и формулы для точного и приближенного подсчета площадей различных правильных фигур; подсчета объемов усеченных конусов и пирамид; представлены правила для численного решения квадратных уравнений, а также приближенного вычисления квадратных и кубических корней.

Процессы строительства древнейших городов Индии и Китая. Если сравнить эти процессы, то выявить отдельные общие черты, заключающиеся в существовании большого числа сельских общин в центральной части городов. В процессе исследования было выявлено, что еще в Индии и в Китае уже на ранних стадиях их развития стали складываться определенные градостроительные правила и каноны, нашедшие свое подтверждение в письменных документах, которые относятся по дате к III в. до н. э. («Артхашастра» в Индии и «Чжоули» в Китае). Однако существовали и отличия, которые можно объяснить существовавшими на то время различными условиями исторического развития данных стран. Так, например, Индия в период данного этапа развития находилась в тесном контакте с эллинским Востоком, а в последствии и с Римской империей; все это несомненно оказало определенное влияние на формирование градостроительных правил и канон в мышлении древних индусов. В Китае в III веке до н. э. был написан, заслуживающий серьезного внимания, трактат «Чжоули», в котором представлена передовая на то время концепция строительства столицы страны, строго симметричного типа, при котором дворцовый комплекс царя располагался в геометрическом центре. По существу, закрепляются достаточно строгие принципы четкой прямоугольной

планировки города, приводятся указания размеров и расположения зданий, ширины главных улиц и дорог и т.п. Приводятся сведения о необходимости ведения регистрации земли и населения, о контроле за состоянием улиц и дорог. Здесь уместно дать описание столицы царства Чжоу в следующем виде: «...Планировка ширины одной улицы такова, чтобы позволить ехать одновременно 9-ти подводам. Налево от дворца находится храм предков, направо – алтарь, перед дворцом – место коленопреклонения подданных, позади дворца – рынок...» [57; 65]. Все ориентиры по компановке строений были заданы по отношению к дворцовому комплексу, который размещался в центре по отношению к остальным всем строениям и являл собой как бы роль базовой ячейки для строительства всего дворцового комплекса.

Первое описание политического и экономического состояния Индии, в том числе системы градостроительства, составил мудрец Каутилья (IV в. до н. э.), состоявший советником при императоре Чандрагупте. В его трактате «Артхашастра» имеются обширные сведения о распределении земель, заселении страны, строительстве крепостей и различных моментах ведения сельского хозяйства. Кроме того, согласно трактату, для захваченных областей заселение предписывалось осуществлять жителями, занятых земледелием, а в целях их охраны и защиты на границах областей предполагалось строительство крепости; при этом центр всех территории – главный город [57; 60]. В трактате особое внимание уделяется правилам, которым необходимо следовать при возведении столицы; четко указаны принципы, по которым формируется центр города, строительство зданий и сооружений внутри города, а также приводятся правила определения местоположения жилых кварталов для каждого из социальных сословий. Не менее строго даются принципы по определению назначения и ширины улиц.

Геометрические подходы в решении геодезических задач по определению размеров Земли (Эратосфен, Посидоний). Эратосфен (около 275-194 гг. до н. э.) – один из наиболее выдающейся ученой античности. Наиболее ярким принято считать достижение Эратосфена в области географических наук – способ для

измерения размеров Земли, подробному описанию которого был посвящен трактат «Об измерении Земли». Способ предполагал процедуру одновременного измерения высоты Солнца в двух городах: Сиена (на юге Египта) и в Александрия, которые располагались примерно на одном меридиане в момент времени летнего солнцестояния.

В результате – вычисленный диаметр Земли получился на 80 км меньше, чем реальный полярный диаметр. В данной работе были также рассмотрены и отдельные астрономические задачи, например такие как: определение размеров Солнца и Луны и приблизительные расстояния до них, дни солнечных и лунных затмений, а также рассчитана продолжительность дня в связи с изменением географической широты [65].

Исходя из предположения, что города Сиена (нынешний город Ассуан) и Александрия находятся на одном меридиане, то в полдень (в день летнего солнцестояния), когда солнце находилось в Сиене в зените, Эратосфен измерил в Александрии его зенитное расстояние – Z (рисунок 14).

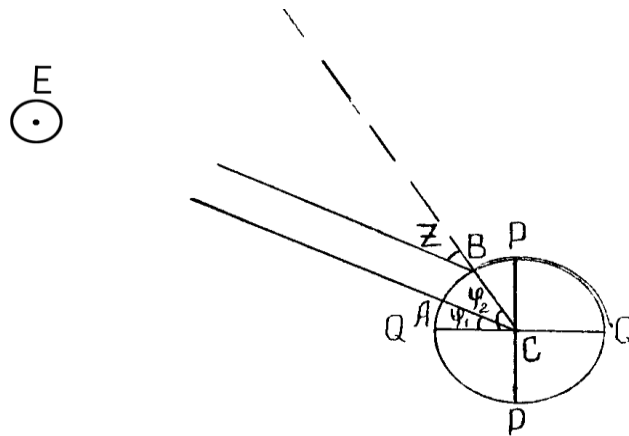


Рисунок 14 – Определение размеров Земли

Как видно из рисунка (на рисунке точки A , B , E , C обозначают соответственно Сиену, Александрию, Солнце и центр Земли), величина Z равна разности широт. Поэтому, зная расстояние между указанными городами (5 000 стадий) и измерив величину Z (она получилась $1/50$ дуги окружности, что составило $7,2^\circ$), Эратосфен вычислил длину земной окружности, которая

оказалась равной $S = 250\,000$ стадий. И уже, исходя из существовавшей в то время длины для стади: египетской (158 м) и греческой (189,7 м), вычисленная длина окружности Земли получилась равной соответственно 39 500 и 47 400 км. Из описания способа следует, что его точность зависела, главным образом, от точности измерений Z , измерения расстояния между городами и их отклонением от меридиана. Едва ли полученное Эратосфеном значение размера Земли могло превышать по точности относительную ошибку в $1/20$.

Вслед за Эратосфеном попытку определения размера земного шара тем же способом предпринял Посидоний (около 135-50 гг. до н. э.). В отличие от Эратосфена он наблюдал не Солнце, а яркую звезду Канопус (альфа Киля). Пункты для наблюдения звезды располагались на острове Родосе и в Александрии. Когда звезда «касалась» горизонта на острове Родосе, в Александрии она находилась на высоте $1/48$ окружности ($7,5^\circ$). Предполагая, что расстояние между пунктами наблюдения равно 5 000 стадий (по данным моряков), Посидоний получил заниженный результат – 240 000 стадий. Какой длиной для стади воспользовался Посидоний – для нас неизвестно, поскольку ни одна из его работ до нас не дошла.

Точные астрономические наблюдения. Один из основоположников астрономии древнегреческий ученый Гиппарх (около 190–120 гг. до н. э.) уделял пристальное внимание наблюдениям за движением планет, считая при этом, что Земля неподвижна, а планеты совершают движение вокруг нее. Его таблицы для определения положений Солнца и Луны предоставляли возможность предвычислять моменты наступления затмений (с ошибкой порядка 1-2 часа). Отметим, что Гиппарх первым использует методы сферической тригонометрии в астрономии, тем самым повышая точность наблюдений. Среди наиболее известных его работ такие, как создание звездного каталога (около 850 звезд, разделенных по блеску на 6 звездных величин); открытие предвараение равноденствия; установление длительности солнечного года; разработка теории движения Луны. Для объяснения видимого движения Солнца, Луны и планет Гиппарх ввел эксцентрические круги и эпициклы, что свидетельствует о том, что

им заложены основы геоцентрической системы и создана прецизионная наблюдательная астрономия.

Из инструментов и приспособлений, которые использовал Гиппарх, можно назвать армиллярную сферу-астралабон (угломерное устройство), в которой для исключения боковой засветки он применил зрительную трубу с перекрестием; сетку меридианов и параллелей; систему деления круга на 360° , а затем на минуты и секунды; именно он считается основоположником математической картографии [100; 103].

3.2 Схемы геодезического обоснования при решении различных инженерных задач в древнее время: землеустроительных, градостроительных, возведении храмов

Для решения инженерных задач при выборе варианта геодезического обеспечения использовались следующие схемы геодезических построений [44; 50; 52; 60]. Можно выделить пять основных схем геодезических построений (рисунок 15): геодезическое обеспечение для задач землеустройства (систем межевания); геодезическое обеспечение для строительства городов и три варианта схем геодезического обеспечения для строительства и возведения сложных сооружений (пробивка туннеля, прокладка канала, возведение сложных храмовых сооружений, инженерных комплексов).

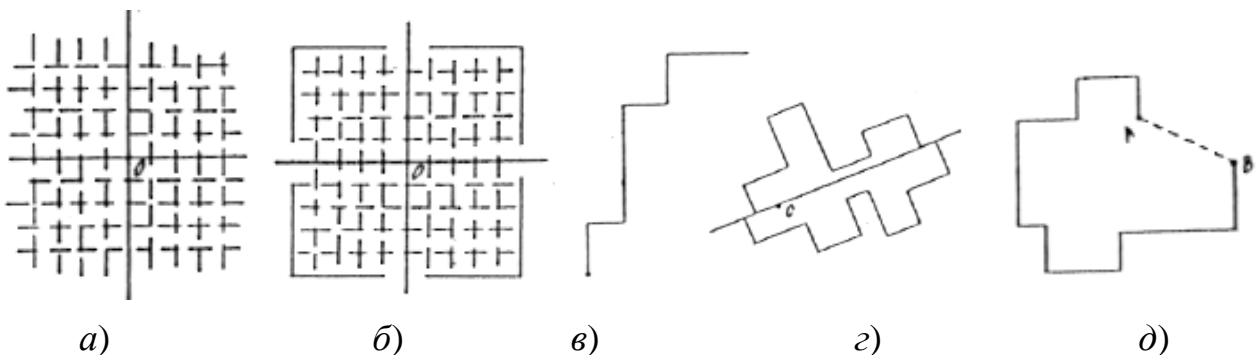


Рисунок 15 – Схемы геодезического обоснования: а) для межевания земель; б) для строительства городов; в) при прокладке каналов; г) при строительстве храмовых комплексов; д) при решении инженерных задач

Схемы геодезического обеспечения первого и второго вида (рисунок 15, а, б) применялись при строительстве городов, а также нередко применялись в работах по земельному кадастру. Основной фигурой таких схем построений являлся прямоугольник или квадрат, а координатными осями служили «декуманус максимум» и «кардо максимум». Межевые линии таких схем обоснования являлись естественными элементами, ориентирующими линиями, а центральный пункт соответствовал началу нумерации системы. Точность измерений составляла от 0,002 до 0,001.

Схема построения третьего вида (рисунок 15, в) применялась в основном при прокладке каналов, дорог и имела произвольную ориентацию; задавалось лишь главное створное направление. Схема построения четвертого вида (рисунок 15, г) являлась обоснованием для строительства храмовых комплексов по какому-нибудь направлению или по меридиану (имела точную ориентацию). В этой схеме построения за начало выбирали исходную точку, которая впоследствии становилась началом системы координат. Далее проводились геодезические работы путем проложения прямоугольных ходов. Точность подобных работ составляла около 10^{-4} . И, наконец, схема построения пятого вида (рисунок 15, д) создавалась для решения какой-либо технической задачи, когда нужно было предельно точно определить направление, расстояние между двумя взаимно невидимыми точками, наклон поверхности и т.п. Такая система имела свободную ориентацию и имела достаточно высокую точность построения (от 0,001 до 0,000 1) в плане и по высоте, а также точность построения прямых углов в пределах 1/4 градуса.

Геодезическое обеспечение планировки городов. Города древнего мира было принято делить на два типа [50]: античные (Рим, Афины, Карфаген, Александрия и др.) и древневосточные (Вавилон, Мемфис, Ниневия и др.). Каждый город, в основном, состоял из трех частей: дворцовый комплекс правителя, храмовый комплекс, жилая часть. Во все времена своего правления, почти все правители уделяли пристальное внимание строительству городов. Если мы ведем речь об искусственной среде, создаваемой человеком в древнее время, то в основном она

была прямоугольной. Еще во времена до нашей эры осуществлялся переход формы жилища от округлой формы к прямоугольной, при достаточно компактной планировке всех поселений. В дальнейшем компактность поселений активно развивалась, и прямоугольная застройка города стала наиболее предпочтительной (с V по IV века до н. э.).

В период с IV по I тысячелетия до н. э. небольшие города начинают разрастаться и превращаются в торговые и ремесленные центры; в их планировке начинает четко выделяться регулярная структура застройки, которую окружала оборонительная стена с геометрически правильным контуром. В I тысячелетии до н. э. города стали строиться уже по единому плану, особенностью которого была регулярная планировка. В большинстве городов древности за признаки регулярной планировки при строительстве городов по единому плану можно принять: геометрически правильную внешнюю форму и заранее установленные размеры города, улиц, площадей; ориентировку крепостной стены (по Солнцу – как описано в книге Витрувия [9; 65]); точно установленное местоположение религиозных сооружений и дворцов, площадей; наличие порядка и систем правил и законов, применяемых при строительстве. В основном размеры городов были стандартными, а форма прямоугольной, крепостные стены и ворота ориентированы по сторонам света. Все это предполагало проведение предварительных изысканий, разбивку контура крепостных стен, указания по местоположению ворот и только после этого могла проводиться церемония основания города [50; 66]. Как правило, общие вопросы по изысканию города определялись политическими и военными целями. Так, например, в Древнем Риме существовал определенный порядок, четкий план основания городов: наличие соответствующих правовых актов, присутствие при закладке города определенных лиц, заверенная четкая структура города, установленная последовательность этапов строительства. Римские города строились по четкому плану застройки с учетом наличия питьевой воды, пригодных климатических условий, близости различных путей транспортного сообщения. Геодезические работы выполнял землемер или громатик, который участвовал в разбивке города,

применяя при этом заранее определенные правила. Жилые дома, как и каждое другое сооружение, имели определенные размеры и пропорции. Все это существенно облегчало и позволяло контролировать работы при строительстве города.

Геодезическое обеспечение римского кадастра. Достаточно значимым достижением в древнее время при построении пространственной картины мира являлся римский земельный кадастр. Такие уже сформировавшиеся понятия как: точки, прямая линия, прямой угол и простейшие геометрические фигуры позволяли людям делить землю на участки, производить планировку городов и возводить сложные инженерные сооружения, создавать чертежи и карты местности.

Начало ведения земельного кадастра в древнем Риме относят к VI в. до н. э. Для описания земельной собственности составлялся специальный реестр со сведениями о размерах земельных участков, способах их обработки, качестве и доходности земель. Обширные масштабы кадастр принял во времена Юлия Цезаря (с 100 по 44 гг. до н. э.) и его приемника Октавиана Августа (с 27 г. до н. э. по 14 г.): осуществлялось обложение земельным налогом, точное измерение земель с определением их качества и составление карт и статистических описаний земель. Система межевых линий и дорог представляли собой координатный каркас по всей территории древнеримского государства, который представлял собой прямоугольную систему координат. Эта своего рода геодезическая сеть существенно облегчала съемку территорий и процесс составления планов и карт, обеспечивала решение различных социальных, хозяйственных, военных и географических задач, а также реализацию государственных функций.

Межевание делилось на два способа – «центуриация» и «скамнация». Скамнация, как более древний способ межевания, применялся в основном в провинциях и преимущественно для гражданского населения. Центуриация – способ более поздний, использовался при колонизации завоеванных земель и заселении их ветеранами.

Межевание способом центуриации проводилось следующим образом.

Межуемая площадь (рисунок 16) делилась на квадраты, представляющих собой единицу межевания, которая называлась центурией. Землемер сначала находил центральную точку с горизонтальной площадкой, на которой с помощью гномона или громы определял главные оси – меридиональное направление и перпендикулярное ему. Оси закреплялись на местности: «декуманус максимум» (ДМ – север-юг) и «кардо максимум» (КМ – восток-запад). С одной стороны, эти оси были ориентированы по сторонам света, а с другой – являлись осями двух главных магистральных улиц или двух военных дорог. На месте их пересечения с крепостными стенами устанавливались городские ворота. От центра по главным осям громатик откладывал равные отрезки, определявшие границы кварталов. На их концах строились линии, параллельные главным осям, а в месте их пересечения – закрепляли центурийные столбы (рисунок 16), тем самым на местности получали сетку координат [66].

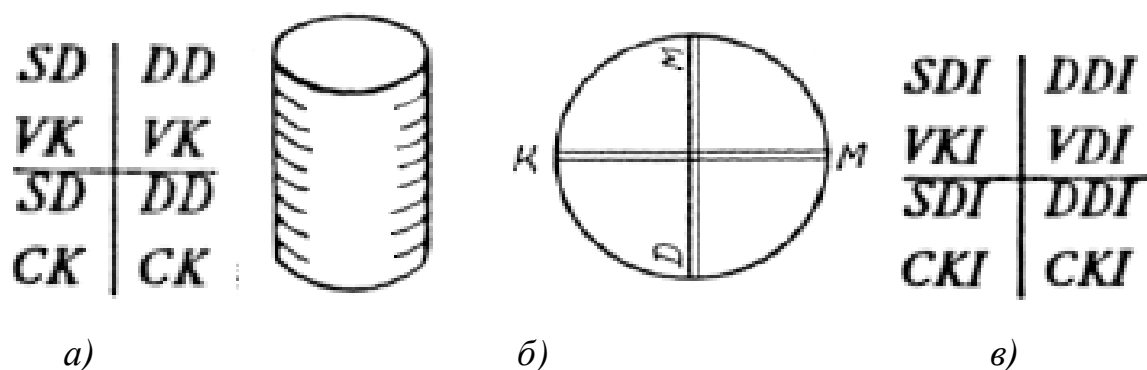


Рисунок 16 – Межевание способом центуриации: а) центральные центурии; б) маркированные центурийные камни; в) обозначение системы

Схема геодезического обеспечения пробивки туннеля. Прокладка водопроводов в древнее время требовала проведения высокотехнических и высокотехнологичных геодезических работ. Так, например, на острове Самос был построен (по проекту инженера Евпалина Мегарского, 530 г. до н. э.) туннель-акведук длиной около 1 км, представленный на рисунке 17. Туннель был проложен с двух сторон, и по исследованиям некоторых ученых ошибка в плане и

прямоугольных линий – можно найти кратчайшее расстояние до любой произвольной точки или расстояние между двумя какими-либо точками; определить направление на произвольную точку или направление между двумя точками, а также установить местоположение определяемой точки.

Для определения направления на местности между двумя невидимыми между собой точками C и B на основе выполненных измерений (рисунок 18), достаточно в этих точках построить вычисленные катеты b и c , предварительно уменьшенные в определенное количество раз. Руководствуясь этим правилом, Герон в своем геометрическом построении, представленном на рисунке 18, продемонстрировал решение данной задачи на примере пробивке туннеля с двух сторон на острове Самос. Можно предположить, что он провел произвольную прямую BE и при помощи диоптры построил последовательно перпендикулярные отрезки EZ , ZH , HQ , QK , KM . На стороне $KЛ$ находилась точка M , как основание перпендикуляра DM . По величине измеренных отрезков он определил длины отрезков DN и NB , а, следовательно, вычислил их отношение – BN/ND . Выдерживая такое же отношение, были построены два вспомогательных треугольника BSE и NPD . Их гипотенузы задают направление туннеля с двух противоположных сторон. Точность подобного построения должна быть не грубее 0,0001 [65].

Система геодезического обеспечения строительства храма Абу-Симбел.
Геодезические изыскания в древнее время довольно часто сводились к выбору главной оси для последующего развития всех остальных элементов строительства. Ось являлась главной координатной линией и, опираясь на нее, осуществлялись все разбивочные работы. Ось строго ориентировалась по сторонам света или применительно к условиям местности и рельефа по небесным светилам на определенную дату и время года. Для разбивки оси выбирался некий исходный пункт, на котором выбиралось направление. Выбранное направление трассировалось на всю заданную длину и закреплялось на местности. По главной координатной оси тщательно проводилась нивелировка, в соответствии с которой выравнивались строительные площадки, вырубались в скалах террасы. Этапу

выверки главной оси предшествовала съемка, а затем выполнялась разбивка контура строительной площадки. Храмовый комплекс в Абу-Симбеле (скала на западном берегу Нила) был целиком выточен в скале на глубину до 55 метров около 1265 г. до н. э. Рамзесом II (1290-1224 гг. до н. э.). Большой храм (рисунок 19) был точно ориентирован с востока на запад так, что дважды в год, 22 февраля и 22 октября (в день рождения фараона и в день его коронации), лучи Солнца проникали во внутренние святилища и освещали культовые статуи на дальней стене. Малый храм, посвященный супруге Рамзеса Нефертари, находится в 135 метрах к северу от Большого храма [66; 91].

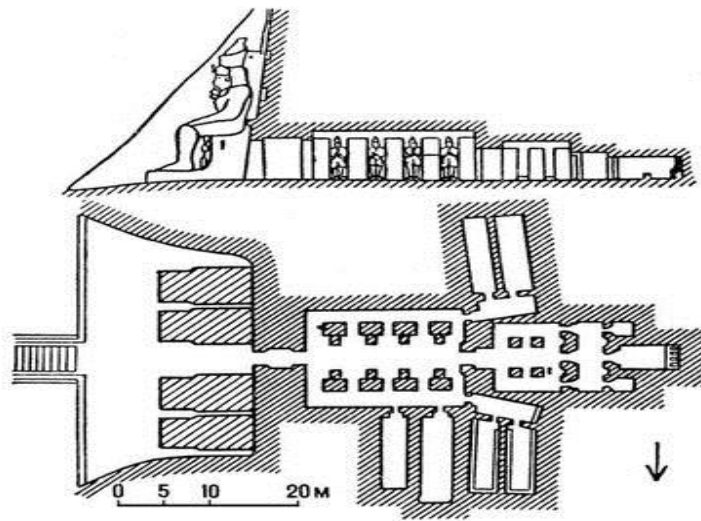


Рисунок 19 – Скальный храм фараона Рамсеса II в Абу-Симбеле: вверху – продольный разрез; внизу – план

3.3 Геодезические измерительные устройства в древнее время

Время появления первых геодезических инструментов соотносится с 4-м тысячелетием до н. э. В это время уже осуществляется строительство городских поселений, храмовых сооружений и планировка земельных угодий (формирование системы межеваний и разбивки угодий на участки). Конструктивной особенностью геодезических инструментов древнего периода является прямой угол и использование отвеса для ориентации в пространстве. Именно отвес и прямой угол составляли основу первых геодезических

инструментов, таких как: землемерный крест и ватерпас, которые использовавшихся еще в 4-3-м тысячелетиях до н. э. А измеряя длины линий с использованием мерных веревок, прямой угол строили на местности на основе египетского треугольника уже в 3-м тысячелетии до н. э. Функциональное использование прямого угла в инструментах представлено ранее в таблице 7.

До появления различных измерительных систем человек пользовался линейными и угловыми мерами, соответствовавшими его фигуре (антропными). Линейные измерения проводились шагами или в соответствии с временными характеристиками, такими как сутки, периоды движения Солнца, Луны, звезд. В качестве угловой меры мог служить прямой угол, определяемый фигурой человека. Сами же геодезические инструменты (системы измерений древнего времени) стали создаваться примерно в 3-м, а возможно даже и в 4-м тысячелетии до н. э., т. е. их начало соотносится со строительством городов. В качестве первых инструменты использовались мерные веревки, шесты и отвесы. Появление землемерных крестов соотносится с временем применения прямоугольных фигур при планировке земельных угодий и городов, поселений городского типа. В более позднее время появились хоробата и ватерпас (рисунок 20). Сведения о хоробате приводятся в трактате Витрувия [9], веревочный шаблон для построения прямого угла появился в древнем Египте уже в 3-м тысячелетии до н. э. Мерное колесо (рисунок 20, в) с учетом первых упоминаний о нем, было создано в 1-м тысячелетии до н. э. (Китай, древний Рим) [5; 36; 60].

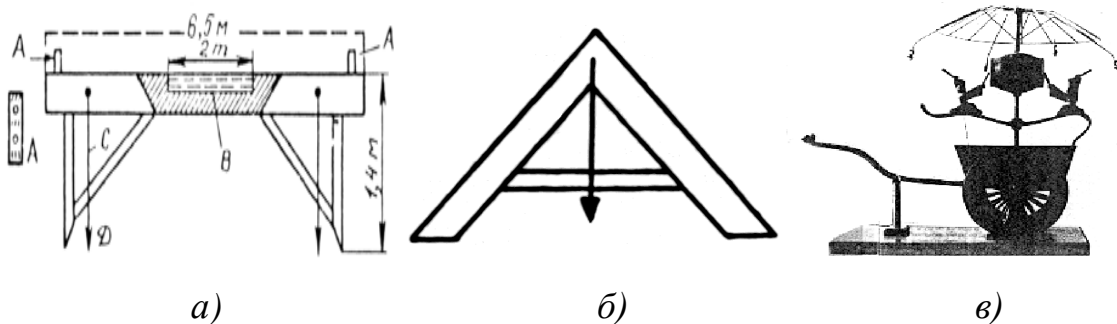


Рисунок 20 – Системы измерений древнего времени: а) хоробата; б) ватерпас; в) мерное колесо

В соответствии с делением исторического времени на 4 эпохи точность измерений всеми инструментами в древнее время определялась в землемерную эпоху интервалом от 10^{-1} до 10^{-2} ; в геометрическую: от 10^{-2} до 10^{-4} . Последний вариант соответствовал периоду эллинов начиная с середины 1-го тысячелетия до н. э. до позднего средневековья. В таблице 8 приведена точность различных видов измерений в разные исторические эпохи.

Таблица 8 – Качественные и количественные характеристики геодезических измерительных устройств

Устройства	Эпохи, время			
	Древнее	Новое (XVIII-XX)	1990-2050 гг.	2-я оловина XXI в.
Средства измерений, точность				
Углоизмерительные системы: - нанесение делений; - отсчеты	«На глазок»: от 15' до градусов	Механическое и оптическое: 0,1"	Электронные системы: 0,1-0,001"	0,001-0,00001"
Системы визирования	Диоптры: 3'-15'	Оптические зрительные трубы: $\alpha/18 = 36"/18 = 2"$ (по Н.В. Яковлеву)	2"- 0,02"	0,02- 0,0002"
Системы горизонтирования	С помощью воды и «на глазок»; градусы	Цилиндрический уровень: 5" – 10"	5"-0,05"	0,05-0,0005"
Системы для линейных измерений; относительная ошибка	Мерные шести и веревки: 10^{-2} - 10^{-4}	Мерные ленты, базисные приборы, оптический метод: 10^{-4} - 10^{-6}	Электронные системы: 10^{-6} - 10^{-8}	10^{-6} - 10^{-8}
Системы для нивелирования, ошибка на 1 км хода	Вода (хоробата, диоптра): 0,1 м	Цилиндрический уровень: 5"-10"; 0,1 мм	Электронные системы: 0,1-0,001 мм	0,001-0,00001 мм
Примечания				
1 Прогнозные значения 2-х последних столбцов имеют большую вероятность при сохранении рассмотренных тенденций и их направленности развития				
2 В диапазоне изменения точности правая часть соответствует концу эпохи, левая – ее началу [65].				

3.4 Обоснование точности геодезических работ в древнее время (на примере строительства туннеля на о. Самос и при строительстве Гизехских пирамид)

Обоснование точности геодезических работ для решения инженерных задач для геометрического обеспечения строительства сложных сооружений древнего времени. Вся технология геодезических работ древнего времени в основном характеризовалась как прямолинейно-прямоугольная. В силу данного обстоятельства все геодезические измерения сводились к ориентированию прямых линий на местности, измерению их длины и построению прямых углов. Для линейных измерений использовались мерные веревки; построение прямого угла осуществлялось с помощью землемерных крестов или специальными методами, описание которых будет дано ниже; ориентирование линий при межевании земельных угодий, сакральных и других сооружений выполнялись на основе астрономических определений или по Солнцу, или в процессе ночных наблюдений на горящие факелы (трассировочные работы). В основном вся технология для геометрического обеспечения работ, связанных с земледелием и строительством, сводилась к реализации пяти видов геодезических схем, представленных ранее на рисунке 15.

Точность измерений в рассматриваемых схемах геодезического обоснования определялась следующими требованиями: областью приложения (земледелие, строительство); применяемой схемой геодезического построения и точностью обеспечения геометрических параметров конкретного инженерного сооружения. Для того, чтобы получить корректную информацию о точности проводимых геодезических работ в древнее время, имеется возможность выполнения исследований по сохранившимся до нашего времени сооружениям древнего времени. Наиболее характерны с этой точки зрения два сооружения, созданные в древнее время: Великие Гизехские пирамиды и туннель на о. Самос [89].

В наших исследованиях наиболее предпочтительной с точки зрения

доступности и достоверности следует принять методику расчета точности производства геодезических работ в древнее время на примере строительства (пробивки) туннеля на о. Самос. Исследования, выполненные в процессе раскопок, дали следующие результаты: длина этого туннеля составила 1 036 м; строительство туннеля осуществлялась одновременной пробивкой с двух концов – с северного и южного; в месте стыковки двух пробивок несбойка в плане составила величину около 6 м, а по высоте – 1 м [12; 14; 107]. Кроме того, в процессе раскопок было обнаружено, что внутри самого туннеля по его правой стороне по полу был сконструирован канал из деревянных желобов, по которым стекала вода.

В процессе выполненных исследований было выдвинуто предположение, что схема геодезического обоснования для строительства туннеля являла собой прямолинейно-прямоугольный ход (рисунок 21).

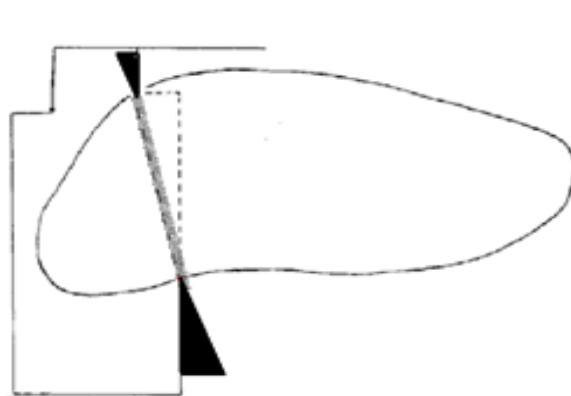


Рисунок 21 – Прямолинейно-прямоугольный ход

Ранее в подразделе 1.3 на основе логистического закона было установлено, что в период эллинизма точность геодезических работ изменялась в диапазоне от 10^{-2} до 10^{-4} , а точность визирования с применением диоптры была в пределах от 3' до 15' (таблица 8), т. е. в пределах 10^{-2} - 10^{-3} [39; 60].

Расчет точности нивелирования при строительстве туннеля. Естественно предположить, что перед началом строительных работ были выполнены расчеты как для планового, так и для высотного геодезического обеспечения работ по

пробивке туннеля. Если принять, что плановый и нивелирный хода были проложены вокруг горы, обеспечивая при этом доступную для того времени точность, то можно предположить, что реальная длина проложенных ходов не превышала длину туннеля более чем в 1,5 раза. Нивелирование по водной поверхности, как наиболее точное для того времени, осуществлялось с применением хоробаты, брус в которой (с выемкой для воды) не превышал длины в 6 м. При нивелировании мог также применяться и ватерпас (метод ватерпаса сохранялся вплоть до XX в.), прикрепленный к какой-либо рейке (длиной, можно также предположить, до 6 м). В последнем случае метод нивелирования в XIX веке носил название ватерпасовки [39, 60].

Представим общую погрешность нивелирования $m_{общ}$ как нестыковку двух встречных ходов при пробивке туннеля (равную 1 м – из выполненных ранее расчетов точности геодезических измерений в древнее время), проложенных с противоположных сторон (в соответствии с результатом раскопок выяснилось, что туннели пробивались по горизонтали).

Для расчета точности выполнения нивелирных работ на станции μ нивелирования используем известное выражение для расчета средней квадратической погрешности для нивелирного хода, включающего n число станций

$$m_H = \mu\sqrt{n}, \quad (6)$$

где n – число станций (одна станция – одно уложение инструмента; в нивелирном ходе число станций составляет $n=250$, имея в виду, что длина нивелирного хода составляет 1,5 км; а длина хоробаты составляет 6 м);

μ – точность нивелирования на станции;

m_H – средняя квадратическая погрешность нивелирного хода.

Выявленная в процессе исследований погрешность пробивки туннеля в древнее время составляла 3'; тогда с учетом длины туннеля (1,5 км) расчетная

величина $m_{общ}$ составила бы 10 см на 1 км нивелирного хода.

В общем виде средняя квадратическая погрешность $m_{общ}$ нивелирного хода определяется погрешностью нивелирного хода между начальной и конечной точками, т. е. точками входа и выхода из туннеля m_H и погрешностью горизонтирования в результате пробивки туннеля m_u

$$m_{общ}^2 = m_H^2 + m_u^2. \quad (7)$$

Подставив численные значения m_H и m_u в выражение (6), получим

$$m_{общ}^2 = (\mu\sqrt{n})^2 + \frac{(\sqrt{2}\Delta 50000)^2}{\rho^2}, \quad (8)$$

где Δ – выявленная в процессе исследований погрешность горизонтирования в результате пробивки туннеля; в сек.;

5 000 – длина, соответствующая половине длины туннеля; в см;

ρ – численное значение постоянной перехода из градусной меры в радианную ($\rho = 206\,265''$).

Второй член в правой части выражения (8) характеризует точность выполнения геодезических работ при пробивке туннеля по горизонтальной линии от начальной (или от конечной) точки до середины туннеля. При этом данная средняя квадратическая погрешность m_u характеризует погрешность геодезических работ в направлении горизонтальной оси, которая была задана до начала производства инженерных работ при пробивке туннеля. Максимальное значение данной погрешности при пробивке туннеля в выбранном направлении не может меньше 3'. Так, например, в работе [57] отмечено, что величина погрешности задания направления при условии применения в качестве створного инструмента диоптры колеблется в пределах от 3' до 15'.

Также можно предположить, что для горизонтирования с целью реализации

процесса пробивки туннеля на о. Самос использовалось какое-либо приспособление, в основе конструкции которого использовалась водная поверхность для горизонтирования [12; 14; 39; 107]. Кроме того точность нивелирования следует уменьшить $\sqrt{2}$ раз, так как выполнение расчетов базируется на связанных с расчетами входом и выходом.

Анализ выражения (8) позволяет легко выявить соотношение между значениями μ и Δ , величины которых зависят от достигнутых погрешностей в процессе пробивки туннеля в нивелирном ходе. Эти расчетные соотношения приведены в таблице 9. Из них следует, что наиболее реальные значения Δ и μ соответствуют значениям 4,8' и 1,1 см.

Таблица 9 – Таблица реальные значений средних квадратических погрешностей для нивелирного хода

Δ , (мин)	m_H , (см)	m_G , (см)	μ , (см)
3	77,4	1	4,9
4	55,3	1,4	3,5
4,5	37,9	1,5	2,4
4,8	17,4	1,6	1,1
$m_H = m_G$			4,3

На основании выполненных расчетов выявлено, что погрешность на станции в нивелирном ходе составила величину, которая близка к 1 см. Тогда в результате получим

$$m_H = \mu\sqrt{n} = 1\text{см}\sqrt{250} = 15,8\text{см}. \quad (9)$$

Имея в виду, что длина нивелирного хода при прокладке туннеля не превышала 1,5 км, то расчетная величина средней квадратической погрешности на 1 км нивелирного хода составит значение около 10 см.

Это значение достаточно корректно согласуется с расчетными данными, полученными на основании расчетов для логистического закона для данного

периода развития. По крайней мере, на следующем этапе развития (топографо-геодезической эпохи) точность нивелирования на 1 км хода находилась в пределах от 1 см до 1 мм.

Расчет точности планового обоснования при строительстве туннеля. В процессе исследований на основании раскопок было установлено, что полученная нестыковка в плане для двух одновременных встречных «пробивок» туннеля не превышает 6 м. Приведенное значение величины нестыковки (для той временной эпохи) достаточно точно характеризует точность геодезических измерений при одновременной пробивке туннеля с двух сторон, и которое получено на основании выполненных достаточно обоснованных расчетов.

При разбивке прямолинейно-прямоугольного хода (в соответствии с рисунком 21) на каждой станции могли быть допущены три вида погрешностей: линейные (при отложении расстояний), угловые (при построении прямого угла) и ошибка трассирования [12; 14; 39; 107].

Точность линейных измерений в древнее время составляла величину порядка 0,001, и эта точность была вполне достижима; точность измерений прямого угла при использовании египетского треугольника лежала в пределах 1,5' и грубее. Точность трассирования линий при использовании землемерного креста (отвесов) или других инструментов находилась в пределах от 3' до 15' (в соответствии с таблицей 8).

Для выполнения расчетов примем: погрешность угловых измерений на станции (отложение прямого угла и трассирования) – 5'; погрешность линейных измерений – 0,001 при длине стороны хода около 50 м; тогда число сторон такого хода (около 1,5 км) составит – 30. Тогда расчетная линейная погрешность по ходу составит

$$m_L = \mu_L \sqrt{n} = 5\text{см} \sqrt{30} = 27,4\text{см}, \quad (10)$$

где μ_L – средняя квадратическая погрешность, допускаемая в линейных

измерениях на одной станции.

Погрешность в угловых измерениях по ходу составит

$$m_y = \mu_y \sqrt{n} = 5' \sqrt{30} = 27,4', \quad (11)$$

где μ_L – средняя квадратическая погрешность угловых измерений на станции.

Предполагая, что и на входе в туннель и на выходе из туннеля разбивался на местности прямоугольный треугольник с целью закрепления направления главной оси туннеля [12; 14; 39; 107] и, полагая, что величина погрешности в при построении двух катетов m_a и m_b для данного треугольника характеризуется одной и той же величиной равной m_a , то их общая погрешность может быть рассчитана как

$$m_{L_{a,b}} = \sqrt{m_a^2 + m_b^2} = m_a \sqrt{2} = 27,4 \text{ см} \sqrt{2} = 19,6 \text{ см}. \quad (12)$$

Из предположения прямоугольности построенного треугольника можно рассчитать направление оси туннеля через

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a}. \quad (13)$$

Чтобы вычислить m_α , необходимо продифференцировать выражение (13). Так как параметр α является функцией двух переменных $\alpha = f(a, b)$, то выполнив дифференцирование, в результате имеем

$$\frac{m_\alpha^2}{\cos^4 \alpha} = m_a^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{b^2}{a^4} \right). \quad (14)$$

Для облегчения и простоты последующих расчетов для определения приближенного значения m_α можно предположить, что длины катетов соотносятся друг с другом как $a = 5b$. Подобное соотношение между двумя катетами разумно обосновано из предположения о конфигурации проложенного хода и длины самого туннеля (1 036 м). Если принять, что длина проложенного хода принята равной 1,5 км, то вычисленные значения катетов составят соответственно: $b = 214$ м и $a = 1\,071$ м. С учетом принятых значений катетов и их соотношений и, выполнив преобразования с учетом (12), имеем

$$m_\alpha = \frac{m_{L_{a,b}} \cos^2 \alpha \sqrt{26}}{a}. \quad (15)$$

Подставив численные значения каждого из параметров и с учетом ранее предложенных условий, вычисленное значение составит: $m_\alpha = 3,5'$. Предположительно, что именно с такой средней квадратической погрешностью и осуществлялась пробивка туннеля одновременно с двух сторон (с северного и южного концов).

Учитывая то обстоятельство, что погрешности в угловых измерениях в направлении проложения хода и погрешность в ориентирования туннеля при одновременной его пробивке с двух сторон, существенно превосходят расчетную погрешность, равную 3,5), то в последующих расчетах данной погрешностью следует пренебречь.

Примем следующие обозначения для средних квадратических погрешностей при пробивке туннеля с двух сторон как m_1 и m_2 ; тогда суммарная погрешность при пробивке туннеля может быть представлена как m_τ

$$m_\tau = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}. \quad (16)$$

Учитывая тот факт, что первоначально величина средней квадратической погрешности не должна превышать 6 м, то ее возможно представить виде как суммарный итог, состоящий из двух погрешностей, полученных при прокладке прямолинейно-прямоугольного хода m_y и пробивке туннеля m_τ . В результате имеем

$$m_{\text{общ}}^2 = m_y^2 + m_\tau^2, \quad (17)$$

где $m_y = \mu_y \sqrt{n}$, $m_\tau = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}$.

Подставив численные значения m_y и m_τ в формулу (18), имеем

$$m_{\text{общ}}^2 = (m_y \sqrt{n})^2 + (m_1 \sqrt{2})^2. \quad (18)$$

Расчетные величины m_y и m_τ могут быть выражены и в метрической (линейной) форме и в угловой мере. В дальнейшем получим следующее выражение:

$$m_{\text{общ}}^2 = \left(\frac{\mu_y \sqrt{n} S}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{m_1 \sqrt{2} S}{\rho} \right)^2, \quad (19)$$

где S – длина половины туннеля (500 м).

Получив значение μ_y относительно остальных членов в формуле (19), можно рассчитать данное значение как численное выражение

$$\mu_y = \frac{206265''}{60''500_m\sqrt{30}} \sqrt{36 - \left(\frac{\sqrt{2}m_1'60''500_m}{206265''} \right)^2}. \quad (20)$$

Подставив численные значения m_1 в формулу (20), рассчитаем соответствующие численные значения μ_y . В процессе выполненных расчетов имеем значения, представленные в таблице 10.

Таблица 10 – Таблица возможных значений средних квадратических погрешностей

m_1, m_2 (в минутах)	m_τ (в минутах)	m_y (в минутах)	μ_y (в минутах)
10	14,1	38,8	7,1
15	21,2	35,8	6,5
20	28,2	30,8	5,6
25	35,3	22,6	4,1
$m_\tau = m_y$			5,3

Предполагая, что суммарная погрешность несбойки северного и южного туннелей не превышает 6 м, а точность ориентирования туннеля (m_1 и m_2) находится в диапазоне от 10' до 25', то на основании допущенных предположений можно утверждать, что расчетная погрешность при трассировании сторон хода и погрешность, допущенная при разбивке на местности прямого угла на станции μ_y колеблется в пределах от 4,1' до 7,1'. Полученную точность трассирования и разбивок в пределах указанных величин (от 4,1' до 7,1') можно считать вполне достижимой. Отметим при этом, что расчетные погрешности m_1 и m_2 при ориентировании оси туннеля с учетом представленных в таблице 12 значений были приняты существенно большими по величине примерно в 2–6 раз. Если же принять порядок соотношения между данными расчетными значения μ_y и m_1 как

соотношение в 4-5 раз, то вычисленные значения для данных величин составит $\mu_y = 5,6'$ и $m_1 = 20'$ – эти значения являются более подходящими для выполняемых геодезических измерений, характерных для эллинистической эпохи при решении различных инженерно-технических задач.

Также отметим, что выполненный ранее расчет точности при проложении нивелирного хода подтвердил, что полученная в процессе расчетов погрешность горизонтирования при пробивке туннеля оказалась близка к $5'$. Заметим, что точность разбивки прямого угла, например, при строительстве пирамид с использованием для процесса разбивки египетского треугольника, могла составлять от $1,5'$ до $2'$. Подобные результаты были достигнуты при строительстве египетских пирамид.

Точность геодезических измерений при строительстве пирамиды Хеопса. Чем дальше исследуются пирамиды, тем больше люди получают данных о высочайшем уровне знаний по геометрии (геодезии) и астрономии. Наибольшие загадки и открытия связаны с Гизехскими пирамидами и особенно с Великой пирамидой Хеопса [96].

В пирамиде Хеопса имеется 4 шахты, две из которых выходят из погребальной камеры царя, а две – из камеры царицы, что видно на рисунке 22; при этом каждая шахта строго ориентирована и точно направлена в определенную часть неба. Можно предположить, что при возведении пирамиды строители должны были не только соблюдать определенные геометрические пропорции (квадратное основание – точность построения лежала в пределах нескольких сантиметров; «золотое сечение») и ориентирование сторон основания по меридиану (точность $3-4'$), но также должны были точно задавать и ориентирование шахт (придать им точный угол наклона) и направление на определенную звезду. Соблюдение подобного рода пропорций и ориентирования требовали высочайшего геодезического и астрономического искусства [3; 5; 104; 105].

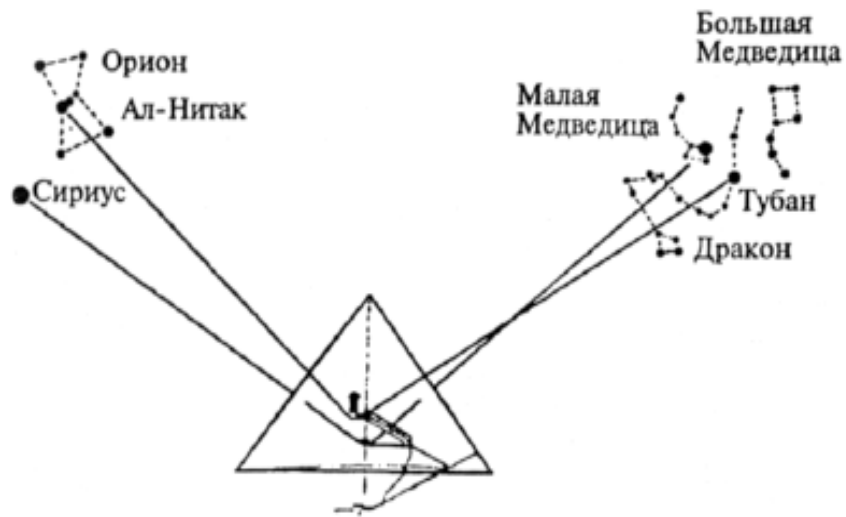


Рисунок 22 – Ориентирование четырех шахт в Великой пирамиде

Известно, что пирамиды строились по единому плану. С.Б. Проскуряковым были сделаны выводы [65; 66], в первом из которых записано: «Гизехский комплекс пирамид построен по единому проекту высокоразвитой цивилизации. В основе его положена π -метрическая система, в которой число и метрика едины. Взаимосвязь параметров базируется на величине π » (цитируется по Н. Глазкова, В. Ланда. Вселенские тайны пирамид и Атлантиды, 1997).

Также в процессе исследований было установлено, что не только в параметры самой пирамиды, но и во всю ее структуру было заложено множество важных математических величин и соотношений. Например, тоже число « π », а размеры камеры царя объединяют «священные» золотые треугольники со сторонами 3; 4; 5. Предполагают, что углы и угловые коэффициенты пирамиды Хеопса также отражают известные в тот исторический момент представления о тригонометрических значениях, а контуры этой пирамиды с большой практической точностью включают в себя пропорции божественного «золотого сечения» [3; 4; 5; 105].

В целом ориентирование всех объектов на местности осуществлялось путём построения прямого угла с использованием таких приспособлений как землемерный крест, наугольник или верёвка с узлами («священный» египетский треугольник) [34; 36]. В качестве основной линии при ориентировании (при

строительстве храмовых комплексов, пирамид и культовых сооружений), как правило, принималось направление на Полярную или полуденную линию, полученную по гномону или рейке), от которых откладывался прямой угол [97–99].

Если считать, что возведение Гизехских пирамид осуществлялось по единому плану путем реализации чрезвычайно сложного проекта, то должны были использоваться уже более точные и более сложные геодезические инструменты по сравнению с известными.

В процессе исследований, выполненных инженером Давидсоном, было установлено следующее: диагональ пирамиды Хеопса дает невероятное по своей точности направление по меридиану [101]; причем точность ориентирования данного направления на теоретический северный полюс составляет 4' 30".

Результаты, полученные в 1837 г. английским исследователем, полковником Вайзом Г. также поразительны [102]. По результатам его исследований, величина угла между каждой из граней пирамиды Хеопса и плоскостью ее основания составила $51^{\circ} 51'$; под таким же углом возведены грани и многих других пирамид древности (например, пирамида фараона Снофру). Если рассчитать угол наклона граней пирамиды Хеопса с учетом значения величины $\pi = 3,141\ 59$, то получим: $\arctg \pi/4 = 51^{\circ} 51' 14''$. Значение данного угла содержится в золотом треугольнике и указывает на наличие в пирамиде Хеопса «золотого сечения» [3; 5; 105].

В 1909 г. Монтагю в результате выполненных триангуляционных построений на местности по сохранившимся в том районе пограничным камням установил, что древние египтяне были способны измерять и разбивать на местности протяженные линии длиной до 15 000 м с достаточно высокой точностью и аккуратностью [65].

В работе [65] Коуль на основании выполненных исследований по результатам повторных измерений смог установить точность для выполненных измерений того времени. Так, например, достигнутая точность в ориентирования сторон и основания пирамиды с помощью приспособления типа мечет (merchet) – составила величину равную 3'06"; при этом отклонения от горизонта в основании

пирамиды с востока на запад составили – 6 мм, а с севера на юг – 14 мм. Эти установленные в процессе исследований погрешности свидетельствуют о том, что величины уклона могут быть рассчитаны с точностью соответственно 1 : 38 000 и 1 : 16 500.

В процессе произведенных повторных измерений и обмеров Гизехской пирамиды (пирамиды Хеопса) дали следующие, представляющие несомненных интерес, результаты [102]: точность выполненных линейных измерений соотносилась с относительной ошибкой 1 : 3 000; точность угловых измерений составила величину порядка – 3'–4'; а точность высотных измерений не превысила 1,25 см (разность высот углов оснований пирамиды).

Подобная точность измерений, достигнутая древними зодчими (пирамиды Хеопса) дают нам основание характеризовать выполненные измерения как высокоточные (для того времени). Можно утверждать, что строительство храмовых комплексов и пирамид осуществлялась по определенным правилам, с особой технологической и измерительной тщательностью. А произведенные в последующем повторные обмеры позволили констатировать, что достигнутая точность была вполне достижима для применяемых инструментов того времени, конечно, при условии и применения достаточно хорошо отработанной технологии измерений длин линий и высот, разбивке прямых углов и при ориентировании.

С применением воссозданных древних инструментов было выполнено нивелирование на короткие расстояния, которое свидетельствовало, что данными инструментами оказалось возможным достигнуть точности измерений порядка 1 : 30 000 [101].

Выяснено, что огромная площадка под пирамидой выровнена относительно горизонта с точностью до 4 см, а сторона основания пирамиды выстроена по прямой линии с точностью до 0,5 см. Погрешность в ориентировании для пирамиды Хеопса по сторонам света составляет 3' [60].

Измерения пирамиды Хеопса проводил и шотландский астроном Смит Ч., египтолог Петри У., астроном Гершель Д., математик Лагранж Ш., а также многие другие ученые [106, 108]. Результаты измерений не всегда совпадали и

колебались от нескольких десятков сантиметров до метра и более.

3.5 Выводы по третьему разделу

Выполнен расчет точности планового и высотного геодезического обоснования при строительстве сложнейших сооружений в древнее время, что позволило установить ее соответствие расчетным данным в соответствии с логистическим законом технологического развития геодезии.

На примере пробивки туннеля на о. Самос выполнены расчеты точности геодезических работ в плановом и высотном отношении в древнее время.

Проанализированы вопросы точности геодезических построений при строительстве Гизехских пирамид и в частности, Великой пирамиды Хеопса.

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 планово-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 ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Апухтин, А. Л. Очерк истории Константиновского межевого института с 1779 по 1879 гг. [Текст] / А. Л. Апухтин. – Спб., 1879. – 350 с.
- 2 Аристотель. Метафизика [Текст] / Аристотель. – Москва-Ленинград, 1934. – 348 с.
- 3 Бабанин, В. Тайна геометрии пирамид в египетском треугольнике и в золотом сечении [Электронный ресурс] / В. Бабанин. – Режим доступа : <http://www.shaping.ru/mku/babanin03.asp>. – Загл. с экрана.
- 4 Бабанин, В. Вперед, по «мосту ослов». К золотому сечению! [Электронный ресурс] / В. Бабанин // – Режим доступа: <http://www.shaping.ru/mku/babanin02.asp>.
- 5 Белабенко, Д. Моделирование пирамиды Хеопса [Электронный ресурс] / Д. Белабенко // – Режим доступа : http://history.anidor.net/article/1201_khufuryramid.php. – Загл. с экрана.
- 6 Болотов, А. П. Геодезия [Текст] / А. П. Болотов. – Спб., 1836. – Ч. I. – 360 с.; 1837. – Ч. II. – 445 с.
- 7 Болотов, А. П. Курс высшей и низшей геодезии [Текст] / А. П. Болотов. – Спб., 1845. – Ч. I.
- 8 Быковский, Н. М. Картография. Исторический очерк [Текст] / Н. М. Быковский // Москва-Петроград, 1923.
- 9 Витрувий. Десять книг об архитектуре [Текст] / Витрувий. Перевод Ф. А. Петровского. – Академия архитектуры, 1936. – 320 с.
- 10 Волков, С. А. От землемерной школы до университета. Очерки истории государственного университета по землеустройству за 1779-1999 гг. [Текст] / С. А. Волков, А. А. Варламов, Ю. К. Неумывакин. – М. : Колос., 1999. – 512 с.: ил.
- 11 Вольф Вильгельм. Лекции по истории практической геометрии-геодезии, читанные в 1863 и 1864 годах на съездах общества немецких геометров [Текст] / Вольф Вильгельм. – М., 1885.
- 12 Гудфилд, Д. Тоннель Эвполина [Электронный ресурс] / Д. Гудфилд. –

Режим доступа : <http://www.kachestvo.net/news.php?id=658>. – Загл. с экрана.

13 Дьяконов, И. М. Пути истории. От древнейшего человека до наших дней [Текст] / И. М. Дьяконов. – 2-е изд., испр. – М. : КомКнига, 2007. – 384 с.

14 Задача про туннель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geodesist.ru/forum/threads>. – Загл. с экрана.

15 Капица, С. П. Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. Очерк теории роста человечества [Текст] / С.П. Капица. – М.: Международная программа образования, 1999. – 240 с.

16 Карпик, А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий [Текст] : монография / А. П. Карпик. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 260 с.

17 Кашин, Л. А. Отечественная геодезия как система наук в историко-научном и практическом понимании [Текст] / Л. А. Кашин // Геодезия и картография. – 1995. – № 10-11.

18 Клименко, А. В. О предмете истории геодезии [Текст] / А. В. Клименко // Геодезическое обслуживание народного хозяйства в Северном Казахстане и Поволжье. – 1982. – С. 118-124.

19 Кондратьев, Н. Д. Большие циклы экономической конъюнктуры [Текст] / Н. Д. Кондратьев // Проблемы экономической динамики. – М. : Экономика, 1989. – С. 172-226.

20 Кузьмин, Б. С. Об определении современного содержания геодезии и картографии [Текст] / Б. С. Кузьмин // Геодезия и картография. – 1972. – № 5. – С. 47-52.

21 Кусов, В. С. Измерение Земли: История геодезических инструментов [Текст] / В. С. Кусов // Московский гос. ун-т геодезии и картографии. – М. : Дизайн. Информация. Картография, 2009. – 256 с.: ил.

22 Кусов, В.С. Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК). История создания и развития: 1779-2004 [Текст] : монография / В. С. Кусов. – М. : Русская история, 2004. – 304 с.

23 Максимов, Ф. О. Обзор тригонометрических работ в России [Текст] /

Ф. О. Максимов. – СПб, 1851. – Кн.5. – 196 с.

24 Назаров, С. Т. Теоретическая и практическая геометрия [Текст] / С. Т. Назаров. – Санкт-Петербург, 1772. – Ч. 1, 2.

25 Неаполитанский, С. М. Сакральная геометрия [Текст] / С. М. Неаполитанский, С. А. Матвеев. – СПб : Издательство института метафизики, 2004. – 632 с.

26 Орланов, Г. Б. Идея детерминизма: исторические тенденции развития [Текст] / Г. Б. Орланов // Детерминизм и современная наука. – Воронеж, 1987. – С. 9-23.

27 Папковский, П. П. Из истории геодезии, топографии и картографии в России [Текст] / П. П. Папковский. – М. : Наука, 1983. – 160 с.

28 Сарычев, Г. А. Морская геодезия [Текст] / Г. А. Сарычев. – СПб, 1804. – 127 с.

29 Сарычев, Г. А. Геодезические и гидрографические правила [Текст] / Г. А. Сарычев. – СПб., 1773. – 47 с.

30 Сергеев, В. К. Математико-навигационная школа [Текст] / В. К. Сергеев // Вопросы географии. – М., 1954. – № 34. – С. 150-160.

31 Синянская, М. Л. Фактор прямого угла в «Принципах влияния» в геодезии [Текст] / М. Л. Синянская // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012 : сб. материалов VIII Междунар. науч. конгр., 10–20 апр. 2012 г. – Новосибирск : СГГА, 2012. – Т.1. – С. 106-110.

32 Синянская, М.Л. Факторы предопределенности развития геодезии [Текст] / М. Л. Синянская // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012 : сб. материалов VIII Междунар. науч. конгр., 10–20 апреля 2012 г. – Новосибирск : СГГА, 2012. – С.54-59.

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

34 Синянская, М. Л. Сакральная геометрия и геодезия [Текст] / М. Л. Синянская // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013 : сб. материалов IX Междунар. науч.

конгр., 15-26 апр. 2013 г. – Новосибирск : СГГА, 2013. – Т. 1. – С. 58-62.

35 Синянская, М. Л. Прямоугольность как геометрический фактор развития геодезии [Текст] / М. Л. Синянская // Вестник СГГА. – 2013. – № 1. – С. 11-15.

36 Синянская, М. Л. Сакральная геометрия, египетский треугольник и геодезия [Текст] / М. Л. Синянская // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 57-60.

37 Синянская, М. Л. Геном геодезии и факторы предопределенности [Текст] / М.Л. Синянская // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014 : сб. материалов X Междунар. науч. конгр., 16–18 апр. 2014 г. – Новосибирск : СГГА, 2014. – Т. 1. – С. 75-79.

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

39 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.

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

41 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.

42 Синянская, М. Л. Геодезия как целостная научная система и ее реинкарнации [Текст] / М. Л. Синянская // Геоконтекст. – 2016. – № 1(4). – С. 45-55.

43 Синянская, М. Л. Биографический и хронологический справочник (Геодезия до XX века.) [Текст] / М. Л. Синянская, Г.Н. Тетерин // Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 681 с.

44 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.

45 Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ. Системы координат [Текст] / В. П. Горобец, Г. В. Демьянов, А. Н. Майоров, Г. Г. Побединский // Геопрофи. – 2013. – № 6 – С. 4-9.

46 Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ. Высотное и гравиметрическое обеспечение [Текст] / В. П. Горобец, Г. В. Демьянов, А. Н. Майоров, Г. Г. Побединский // Геопрофи. – 2014. – № 1 – С. 5-11.

47 Телеганов, Н. А. Метод и системы координатизации в геодезии [Текст] / Н. А. Телеганов, Г. Н. Тетерин. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 143 с.

48 Тетерин, Г. Н. Решение проблемы координатизации пространства в истории геодезии [Текст] / Г. Н. Тетерин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1994. – № 6. – С. 30-38.

49 Тетерин, Г. Н. Современное понимание, представление и определение геодезии [Текст] / Г. Н. Тетерин // Геодезия и картография, 1995. – № 10. – С. 15-19.

50 Тетерин, Г. Н. О точности геодезических измерений (исторический аспект, тенденции развития) [Текст] / Г. Н. Тетерин // Геодезия и картография. – 1997. – № 8. – С. 49-53.

51 Тетерин, Г. Н. Концепция развития геодезии [Текст] / Г. Н. Тетерин // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2002. – № 4. – С. 51-60.

52 Тетерин, Г. Н. История геодезии в градостроительстве и возведении сложных сооружений [Текст] / Г. Н. Тетерин // Новосибирск : Сибпринт, 2003. – 116 с.

53 Тетерин, Г. Н. Геодезия в циклах развития [Текст] / Г. Н. Тетерин // Изве-

ствия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2004. – № 2. – С. 126-137.

54 Тетерин, Г. Н. Аксиоматическая основа и структурные элементы в геометризации и координатизации пространства в геодезии [Текст] / Г. Н. Тетерин // Геодезия и картография, 2004. – № 8. – С. 17-20.

55 Тетерин, Г. Н. Современная высшая геодезия – рудимент прошлого или новый этап развития [Текст] / Г. Н. Тетерин // Геодезия и картография, 2004. – № 7. – С. 53-56.

56 Тетерин, Г. Н. Биографический и хронологический справочник (Геодезия до XX в.) [Текст] / Г. Н. Тетерин, М. Л. Синянская. – Новосибирск, «Сибпринт», 2009. – 515 с.

57 Тетерин, Г. Н. Древние измерительные системы и два принципа влияния (ПВГ и П4Н) [Текст] / Г. Н. Тетерин, М.Л. Тетерина // «ГЕО-Сибирь-2009»: V Междунар. Выставка и науч. конгр. Т. 1, ч. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 123-124.

58 Тетерин, Г.Н. Феномен прямого угла и прямоугольности в геодезии [Текст] / Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская // ГЕО-Сибирь-2010: VI Междунар. Выставка и науч. конгр., 19-29 апр. 2010 г., Т. 1, ч. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 48-51.

59 Тетерин, Г.Н. Теоретические и методологические основы современной геодезии [Текст] / Г.Н. Тетерин // Геодезия и картография, 2011, №1. - С. 55-59.

60 Тетерин, Г.Н. Угловые и линейные меры измерений в древнее время [Текст] / Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская // ГЕО-Сибирь-2011 : сб. материалов VII Междунар. науч. конгр. 19–29 апр. 2011 г. – Новосибирск : СГГА, 2011. – Т. 1, ч. 1. – С. 79-83.

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

62 Тетерин, Г. Н. Четыре парадигмы и законы развития в геодезии [Текст] / Г. Н. Тетерин // Изв. вузов. Геод. и аэрофот., 2012. – № 4. – С. 30-34.

63 Тетерин, Г. Н. Язык геодезии [Текст] / Г. Н. Тетерин // Геодезия и карто-

графия, 2012. – № 1. – С. 53-58.

64 Тетерин, Г. Н. О координатизации - термине и определении [Текст] / Г. Н. Тетерин // Вестник СГГА, 2012 – № 4. – С. 32-41.

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

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

67 Тетерин, Г. Н. Теория развития геодезии и факторы предопределенности [Текст] / Г. Н. Тетерин, М. Л. Синянская // Вестник СГГА. – 2015. – Вып. 1 (25). – С. 3-11.

68 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.

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

70 Тетерин, Г. Н. Количественные и качественные оценки исторических процессов в геодезии [Текст] / Г. Н. Тетерин, М. Л. Синянская // Геоконтекст. – 2017. – № 1(5). – С. 13-24.

71 Тетерин, Г. Н. Концептуальное определение и представление системы геодезических знаний [Текст] / Г. Н. Тетерин, М. Л. Синянская // Геоконтекст. – 2017. – № 1(5). – С. 25-32.

72 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.

73 Фарлонг, Д. Стоунхендж и пирамиды Египта. Ключи от храма жизни [Текст] / Д. Фарлонг. – М. : ВЕЧЕ, 1999. – 400 с.

74 Фель, С. Е. Петровская геометрия [Текст] / С. Е. Фель // Труды института истории естествознания. – М., 1952. – Т.4. – С. 140-155.

75 Фель, С. Е. Петровские геодезисты и их участие [Текст] / С.Е. Фель // Труды института истории естествознания. – М., 1952. – Т.4. – С. 140-155.

76 Хренов, Л. С. Хронология отечественной истории геодезии с древнейших времен и до наших дней [Текст] / Л. С. Хренов. – М., 1987. – 291 с.

77 Цейтен, Г. Г. История математики в древности и средние века [Текст] / Г. Г. Цейтен. – М.-Л. : Гонти, 1938. – 231 с.

78 Цицианов, Д. П. Краткое математическое изъяснение землемерия межевого [Текст] / Д. П. Цицианов. – Спб., 1757. – 112 с.

79 Шибанов, Ф. А. Очерки по истории отечественной картографии [Текст] / Ф. А. Шибанов. – Л. : ЛГУ, 1971. – 160 с.

80 Шюре, Э. Великие посвященные [Текст] / Э. Шюре. – Калуга : Типография Губернской Земской Управы, 1914. – 419 с.

81 Щетников, А. И. Золотое сечение, квадратные корни и пропорции пирамид в Гизе [Электронный ресурс] / А. И. Щетников // – Режим доступа: <http://www.nsu.ru/dassics/Pythagoras/Pyramis.pdf>. – Загл. с экрана.

82 Яковец, Ю. В. Циклы. Кризисы. Прогнозы [Текст] / Ю. В. Яковец. – М. : Наука, 1999. – 448 с.

83 Яровой, В. Л. Краткий очерк развития геодезического инструментоведения в СССР [Текст] / В. Л. Яровой. – М. : Геодезист, 1955. – 97 с.

84 Apostol, T. M. The Tunnel of Samos [Электронный ресурс] / T. M. Apostol // ENGINEERING & SCIENCE. – 2004. – № 1. – С.30-40. – Режим доступа: <http://www.freerepublic.com/focus/chat/2221910/posts>. – Загл. с экрана.

85 Burnside, R. S. The Evolution of Surveying Instryments [Текст] / R. S. Burnside // Surveying and Mapping, 1958, V.XVIII., – № 1. – pp. 59-36.

86 Cantor, Moritz. Romischen agrimensoren und ihre Stellung in der Geschichte der Feldmesskunst eine Historisch-mathematische untersuchung [Текст] / Cantor

Moritz // – Leipzig, 1875.

87 Cantor, Moritz. Vorlesungen über Geschichte der Mathematik [Текст] / Cantor Moritz // Von den ältesten Zeiten bis zur Jahre 1200, № c HR. – Leipzig, 1907.

88 Clarke, S. Ancient Egyptian Masonry the Building Craft [Текст] / S. Clarke, R. Engelbach // Oxford, 1930. – 233 pp.

89 Cole, J. H. Determination of the Exact Size and Orientation of the Great Pyramid of Giza [Текст] / J.H. Cole // «Survey of Egypt», Cairo, 1925. – № 39.

90 Feldhaus, F. M. Die Technik der Antike und des Mittelalters [Текст] / F. M. Feldhaus // Berlin, 1931.

91 Fischer, I. K. At the dawn of geodesy [Текст] / I. K. Fischer // Bulletin géodésique, Paris, 1998. – № 2. – pp. 132-142.

92 Fordham, H. G. Some Notable Surveyors and Map Makers of the Sixteenth, Seventeenth and Eighteenth Centuries and their Work [Текст] / H. G. Fordham // A Study in the History of Cartography. Cambridge, 1929. – 99 pp.

93 Foullon, Abel. Usage et description de l'holometre [Текст] / Abel Foullon // Paris, 1551.

94 Junter, Edmund. Description and use of the Sector, Cross-Staffe and Other Instrument [Текст] / Edmund Junter // London, 1624.

95 Halliwell, J. Rara Mathematica [Текст] / J. Halliwell // London, 1839.

96 Kiely, E. Surveying Instruments. Their History and Classroom use [Текст] / E. Kiely // New York, 1947. – 397 pp.

97 Leybourn, William. The Compleat Surveyor [Текст] / William Leybourn // London, 1653, 1657 (2-е издание), 1674 (3-е издание).

98 Marsh, Charles F. The History of surveying in the United States. [Текст] / Charles F. Marsh // Surveying and Mapping, 1958. – v. XVIII, № 2, pp. 179-206.

99 Minow, Helmut. Antike Feldmessenkunst in Mesopotamien [Текст] / Helmut Minow // «Vermessungsingenieur», 1973. – №1, pp. 19-21.

100 Minow, Helmut. Praxis Geometrie-5000 Jahre Vermessungswesen. Antike Feldmessenkunst in Ägypten [Текст] / Helmut Minow // «Vermessungsingenieur», 1973.

– №3. – pp. 83-85.

101 Multhauf, Robert P. Early Instruments in the History of Surveying: Their Invention and Their use [Текст] / Robert P. Multhauf // Surveying and Mapping, 1958. – V.XVIII, №4, pp. 399-416.

102 Purbach, G. Quadratum Geometricum [Текст] / G. Purbach // Nurnberg, 1516-1517.

103 Rathborne, Aaron. The Surveyor [Текст] / Aaron Rathborne // London, 1616.

104 Rayner, W. H. Surveying in Ancient Times [Текст] / W. H. Rayner // Civil Engineering, 1939. – V.9, № 10. – pp. 612-614.

105 Rayner, W. H. From Columbus Compass to the First Transit. [Текст] / W. H. Rayner // Civil Engineering, 1939. – V.9, № 11. – pp. 661-664.

106 Schwenter, Daniel. Geometricae practicae novae et auctae, Libri IV [Текст] / Daniel Schwenter // Nurnberg, 1618.

107 Seiler, R. Die romische vermessung und ihre Reste [Текст] / R. Seiler // Vermess-Mensur, 1972. – № 4. – pp.108-111.

108 Teterin, G. N. Informationel Gharacteristics of Maps [Текст] / G. N. Teterin // Mapping Sciences and Remote Sensing («Geodesy, Mapping and Photogrammetry»). – 1987. – № 24. – pp. 63-69.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

ТОЧКИ ПРЕДОПРЕДЕЛЕННОСТИ (ИЗОБРЕТЕНИЯ, ОТКРЫТИЯ) В
РАЗЛИЧНЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ ЭПОХИ

Таблица А.1 – Точки предопределенности (изобретения, открытия) 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 (Герклид).
Вторая половина IV в. до н. э.	Аристотель (384-322гг. 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).
Около 360 г. до н. э.	Первый китайский звездный каталог.
Около 360 г. до н. э.	Геоцентрическая система мира (Аристотель).
Около 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 скамнации 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 А.2 – Точки предопределенности (изобретения, открытия) 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 Мартина Вельдземюллера.
1528 г.	Издана работа Мюнстера в которой он описал полярный метод.
1540-1570гг.	Введение масштабов на военных картах.
1543г.	Гелиоцентрическая система мира Коперника.
1546г.	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 ванн 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 (1598-1658гг.) 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 (1537-1616гг.) создана мензула. Описана в 1618г. Д.Швентнером (1585-1636гг.).
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 1:130000).
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 А.3 – Точки предопределенности (изобретения, открытия) революционной части геоинформационной эпохи

Дата	Событие
1951 г.	Высоты, отсчитываемые от квазигеоида, по предложению М.С. Молоденского, получили название нормальных высот.
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 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)	Гагарин Ю.А. (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 (Главное управление геодезии и картографии) на базе ЭВМ МА-220 создан первый вычислительный центр.
1968 г.	С территории СССР стартовала 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 1990гг. 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 РФ №568 введена новая модель Земли – «ПЗ-90».
2002 г.	Постановлением правительства РФ в России вместо СК-42 введены 2 системы координат ПЗ-90 и СК-95.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

СФОРМУЛИРОВАННЫЕ ПОСТУЛАТЫ ПО СТРУКТУРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ

Постулаты по окружающему физическому пространству:

– окружающее физическое пространство представляет собою неограниченную совокупность объектов и явлений;

– создаваемое пространство (вторичная среда) состоит из материальных структурных элементов, определенным образом ориентированных с помощью геодезических систем измерений. Все структурные элементы ориентированы в заданном пространстве;

– общее пространство состоит из множества подпространств, имеющих свою структуру и ориентировку (систему координат), связанных со структурой и ориентировкой общего пространства;

– в общем физическом пространстве все объекты пространственно определены относительно друг друга, как в общей системе координат, так и на локальном участке (в локальной системе координат).

Постулаты по структурным элементам:

– каждый объект общего физического пространства может быть представлен совокупностью точек, линий, поверхностей (совокупностью структурных элементов);

– все структурные элементы ориентированы в своем пространстве с учетом ПВГ и П4Н или какого-либо другого принципа (точки определены пространственно);

– каждый из физических структурных элементов имеет размер, форму, пространственное положение;

– абстрактные образы физических структурных элементов (точки, линии, поверхности) отвечают всем постулатам, аксиомам и теориям классической геометрии (геометрии Евклида).

Постулаты по объектам и явлениям:

- для каждого физического объекта и явления может быть определено пространственное положение в заданной системе координат, размеры и формы;
- любой объект (явление) физического пространства можно представить (выразить) совокупностью линий, точек, поверхностей;
- любой объект, явление физического пространства имеет или точно образную, или линейно образную, или поверхностно образную форму, или их какую-либо совокупность;
- все объекты (явления), подлежащие представлению с помощью структурных элементов, находятся в координатизированном пространстве, в котором задана какая-либо система координат;
- геодезическую метрику объектов физического пространства можно получить путем непосредственно измерений структурных элементов или моделированием (с помощью правил и теории геометрии) параметров и образов;
- любой объект или явление в пространстве имеет форму, размер и определенное пространственное положение относительно всей совокупности других объектов этого пространства. Его ориентировка, т. е. координаты, может быть установлена как относительно других объектов, так и относительно каких-либо структурных элементов.

Постулаты о системах координат:

- в любом физическом пространстве есть объекты, которые можно принять за постоянные и через которые можно провести под прямым углом линии, сходящиеся в одной точке и образующие прямоугольную двухмерную или трехмерную систему координат;
- в любой части пространства (подсистеме) может быть введена система координат (через совокупность каких-либо структурных элементов, ориентированных по какому-либо правилу или другой (имеющейся) системе координат);
- пространственное положение объекта или явления может быть установлено с помощью какой-либо системы координат. Система координат вводится в определенной части окружающего физического пространства с

помощью структурных элементов, проходящих через выбранные объекты окружающего физического пространства;

- простейшая система координат (в двухмерных, трехмерных пространствах) получается тогда, когда угол между координатными линиями и поверхностями в центре получается прямым;

- при построении наземных и околоземных систем координат учитывается *ПВГ* и *П4Н* (в совокупности *П6Н*);

- система ориентации (система координат) в пространстве задается каким-либо направлением (лучом - линией, исходящей из точки) или системой направлений, сходящихся в заданной точке под каким-либо углом и образующих координатные поверхности (плоскости).

Постулаты по системам измерений:

- геодезическая метрика объектов (явлений) окружающего физического пространства может быть выражена и представлена с помощью каких-либо систем измерений и моделирования;

- любая система измерений в процессе измерений должна быть ориентирована с учетом *ПВГ* и *П4Н*;

- в системах измерений (в их создании) учитывается *ПВГ* и *П4Н*;

- система и пространство измерений должны быть связаны системой ориентировки (системой координат).

Дополнительно можно включить шестой постулат.

Предметные определения геодезии:

- геодезия занимается определением (измерениями, построением, моделированием) пространственных отношений и формы (*ФРПП* – геодезическая метрика) структурных элементов объектов (явлений) окружающего физического пространства;

- геодезия, как система знаний, оперирует со структурными элементами (точками, линиями, поверхностями)» [66, 79].