

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский государственный университет
Факультет географии и геоинформатики
Кафедра геодезии и космоаэрокартографии

СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой
_____ А.А. Топаз
25 февраля 2025 г.

СОГЛАСОВАНО
Декан факультета
_____ Е.Г. Кольмакова
27 февраля 2025 г.

Введение в космоаэрокартографию

Электронный учебно-методический комплекс
с креативным компонентом для специальности:
6-05-0532-05 «Космоаэрокартография и геодезия»

Регистрационный № 2.4.3-24 / 668

Составители:

Романкевич А.П., доцент кафедры геодезии и космоаэрокартографии
Белорусского государственного университета, кандидат географических наук,
доцент;

Жумарь П.В., доцент кафедры геодезии и космоаэрокартографии
Белорусского государственного университета, кандидат географических наук;

Пейхвассер В.Н., старший преподаватель кафедры геодезии
и космоаэрокартографии Белорусского государственного университета;

Шестаков Н.А., преподаватель кафедры геодезии и космоаэрокартографии
Белорусского государственного университета.

Рассмотрено и утверждено на заседании Совета факультета географии
и геоинформатики. Протокол № 7 от 27.02.2025 г.

Минск 2025

УДК 528:004(075.8)
В 24

Утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ.
Протокол № 3 от 30.10.2025 г.

Составители:

Романкевич Александр Петрович, доцент кафедры геодезии и космоаэрокартографии Белорусского государственного университета, кандидат географических наук, доцент;

Жумарь Павел Владимирович, доцент кафедры геодезии и космоаэрокартографии Белорусского государственного университета, кандидат географических наук;

Пейхвассер Вячеслав Николаевич, старший преподаватель кафедры геодезии и космоаэрокартографии Белорусского государственного университета;

Шестаков Никита Алексеевич, преподаватель кафедры геодезии и космоаэрокартографии Белорусского государственного университета.

Рецензенты:

кафедра «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии» Белорусского национального технического университета (заведующий кафедрой Рак И. Е., кандидат технических наук, доцент);

Бабура Н.П., главный редактор карт – начальник управления картографии Государственного предприятия «Белгеодезия».

Введение в космоаэрокартографию : электронный учебно-методический комплекс с креативным компонентом для специальности 6-05-0532-05 «Космоаэрокартография и геодезия» / БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. геодезии и космоаэрокартографии ; сост.: А. П. Романкевич [и др.] ; под общ. ред. А. П. Романкевича. – Минск: БГУ, 2025. – 108 с.: ил. – Библиогр.: с. 106–108.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) с креативным компонентом «Введение в космоаэрокартографию» предназначен для студентов специальности 6-05-0532-05 «Космоаэрокартография и геодезия». Содержание ЭУМК предполагает изучение основных вопросов, составляющих фундамент топографо-геодезического метода географических исследований, формирование знаний в области основ теории и практики получения информации, её обработки для картографирования объектов географической оболочки.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	5
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	6
1.1. Введение в космоаэрокартографию	6
1.1.1. Объекты, виды и задачи профессиональной деятельности	6
1.1.2. Принципы осуществления геодезической и картографической деятельности в Республике Беларусь.....	8
1.1.3. Образование и развитие кафедры геодезии и космоаэрокартографии.....	10
1.1.4. Международные организации.....	13
1.2. Создание геодезических сетей на территории Беларуси	16
1.2.1. Плановая геодезическая сеть	16
1.2.2. Предпосылки создания единой геодезической сети.....	22
1.2.3. Создание астрономо-геодезической сети СССР. Единая схема и программа ГГС	23
1.2.4. Высотная геодезическая сеть.....	28
1.3. Понятие о глобальных навигационных спутниковых системах позиционирования.....	30
1.4. Общеземные геоцентрические системы координат	33
1.5. Развитие геодезических сетей спутниковыми методами.....	37
1.5.1. Референцная система координат 1995 года (СК-95)	37
1.5.2. Преимущества применения спутниковых методов для развития геодезических сетей	38
1.6. Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь.....	39
1.6.1. Плановая ГГС	40
1.6.2. Высотная ГГС.....	43
1.6.3. Государственная гравиметрическая сеть (ГГрС).....	46
1.7. Разграфка и номенклатура топографических карт	48
1.8. Земной магнетизм	53
1.9. Часовые пояса.....	58
1.10. Картографические условные знаки	61
1.10.1. Условные знаки для топографических карт	63
1.10.2. Условные знаки для топографических планов	64
1.11. Географические карты. Картографические произведения	65
1.12. Современное состояние и перспективы развития картографии	83
1.13. Понятие о дистанционных методах исследования	84
1.13.1. Классификация дистанционных методов исследования.....	85
1.13.2. Применение методов дистанционного зондирования при картографировании Земной поверхности	95
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	98
2.1. Знакомство с Adobe Illustrator. Рабочее пространство. Интерфейс и настройки. Форматы. Кривая Безье	98
2.2. Работа с фигурами.....	98
2.3. Цветовые модели, прозрачность и режим наложения, каталоги цветов.....	99
2.4. Шрифты и надписи на карте	99

2.5. Работа с контурами	99
2.6. Работа с градиентными и текстурными заливками	100
2.7. Кисти и символы	100
2.8. Определение номенклатуры отдельных листов топографических карт	101
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ	102
3.1. Темы рефератов.....	102
3.2. Примерный перечень вопросов к экзамену.....	103
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	104
4.1. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине	104
4.2. Рекомендуемая литература	106
4.3. Электронные ресурсы	108

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) с креативным компонентом по учебной дисциплине «Введение в космоаэрокартографию» предназначен для реализации требований образовательных программ, образовательных стандартов и учебных планов по специальности: 6-05-0532-05 «Космоаэрокартография и геодезия» ОСВО 6-05-0532-05-2023. ЭУМК является необходимой методической основой для обеспечения высокого качества образовательного процесса, формирования необходимых профессиональных компетенций у студентов.

Данный ЭУМК предназначен для выполнения требований упомянутого образовательного стандарта и учебного плана. Целью ЭУМК является улучшение систематизации знаний студентов по учебной дисциплине «Введение в космоаэрокартографию», контроля учебного процесса, доступа студентов к учебным материалам и ориентирования по пути их освоения.

Основной областью применения ЭУМК предполагаются лекционные, лабораторные и другие занятия по дисциплине «Введение в космоаэрокартографию», а также самоподготовка к текущему и итоговому контролю знаний по предмету с креативным компонентом. ЭУМК может быть использован также при подготовке курсовых работ и прохождении учебной топографической практики. На это нацелен весь функционал комплекса.

Учебный материал организован по разделам таким образом, чтобы знаниями по учебной дисциплине «Введение в космоаэрокартографию» студент мог овладеть самостоятельно. Он включает четыре основных раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный.

Теоретический раздел ЭУМК содержит конспект лекций по дисциплине, необходимых для изучения её теоретического содержания.

Практический раздел ЭУМК включает задания и методические материалы к выполнению лабораторных работ.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит перечень тем рефератов и вопросы к экзамену по учебной дисциплине.

Вспомогательный раздел ЭУМК включает списки рекомендуемой основной и дополнительной литературы, учебно-методическую карту программы по учебной дисциплине «Введение в космоаэрокартографию».

ЭУМК с креативным компонентом по учебной дисциплине «Введение в космоаэрокартографию» предназначен для преподавателей, студентов, магистрантов и аспирантов, изучающих географические науки.

Дисциплина «Введение в космоаэрокартографию» раскрывает теоретические и технологические основы создания и сгущения геодезических сетей, образование и развитие единых систем координат и высот, понятия о глобальных навигационных спутниковых системах позиционирования, общеземных геоцентрических координатно-временных системах отсчёта и другие вопросы.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Конспект лекций «Введение в космоаэрокартографию» составлен для студентов специальности 6-05-0532-05 «Космоаэрокартография и геодезия» в соответствии с действующей учебной программой и Государственным стандартом образования Республики Беларусь.

Материал, содержащийся в конспекте, отвечает на основные вопросы, составляющие фундамент картографо-геодезического метода географических исследований. Полученные знания по данному курсу служат основой для изучения других учебных дисциплин: «Топография с основами геодезии», «Геодезическое инструментоведение», «Картография», «Методы дистанционных исследований», «Дистанционное зондирование природной среды», «Современные системы дистанционного зондирования Земли» и др.

В пособии изложены основные сведения и понятия, входящие в картографо-геодезическую сферу деятельности, представлены основные этапы в истории развития геодезических сетей и картографии на территории Беларуси.

При изложении материала сохранена последовательность читаемого теоретического курса. Материал курса предусмотрен для самостоятельного изучения данной дисциплины.

1.1. Введение в космоаэрокартографию

1.1.1. Объекты, виды и задачи профессиональной деятельности

«Введение в космоаэрокартографию» является дисциплиной государственного компонента в системе подготовки студентов по специальности 6-05-0532-05 «Космоаэрокартография и геодезия».

Космоаэрокартография – научная дисциплина, изучающая географическую оболочку посредством картографического моделирования на основе данных дистанционного зондирования Земли и наземных топографо-геодезических измерений.

Подготовка специалиста по данной специальности предполагает формирование определённых профессиональных компетенций, включающих знания и умения в проведении комплексных исследований с использованием современных электронных и спутниковых средств геодезических измерений и дистанционных методов изучения и картографирования объектов и явлений природной среды. Присваиваемая квалификация – *«Специалист по картографо-геодезической деятельности»*.

Объектами профессиональной деятельности специалиста по картографо-геодезической деятельности служат: географическая оболочка и слагающие её природные, природно-антропогенные, социально-экономические и территориально-производственные системы различного иерархического уровня (глобального, регионального, локального),

теоретические и прикладные задачи в области картографирования и дистанционного зондирования.

Видами профессиональной деятельности являются: научно-исследовательская; проектно-изыскательская; контрольно-экспертная; организационно-управленческая; инновационная.

К задачам профессиональной деятельности относятся:

- проведение комплексных исследований глобальных, национальных и региональных отраслевых географических проблем и визуализация знаний с помощью компьютерных технологий;
- выявление и оценка природно-ресурсного потенциала регионов и стран с применением методов дистанционного зондирования и определение возможностей их хозяйственного освоения;
- проведение исследований по проектированию, составлению и изданию карт различного назначения: топографических, общегеографических, тематических и комплексных в области наук о Земле;
- картографический анализ общих и частных проблем использования природно-ресурсного потенциала территорий, организация экологического мониторинга с использованием космических снимков;
- территориальное планирование, проведение топографических, земельно-кадастровых и землеустроительных работ, картографическая экспертиза социально-экономической и хозяйственной деятельности на территориях разного иерархического уровня;
- разработка схем особо охраняемых природных территорий (ООПТ – заповедников, национальных парков, заказников) и составление карт их функционального зонирования на бумажных и электронных носителях;
- составление проектов районной планировки, генеральных планов городских поселений, схем территориальной организации природопользования, оптимизация схем природного, административно-территориального и социально-экономического районирования;
- использование и разработка географических информационных систем, подготовка цифровых, электронных и мультимедийных произведений;
- индикационное картографирование на основе использования аэрокосмической информации;
- организация программно-информационного обеспечения научно-исследовательской, проектно-производственной, контрольно-экспертной и организационно-управленческой деятельности в области геодезии и картографии, дистанционного зондирования природных ресурсов;
- преподавательская деятельность в рамках дисциплин комплекса наук о Земле (география, астрономия, картография, топография, экология и др.) в учебных заведениях общеобразовательного и специального профиля.

Выпускники данной специальности востребованы в организациях, входящих в состав Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь (Государственное предприятие «Белгеодезия», РУП «Белкартография», Государственное предприятие «БелПСХАГИ», РУП «Проектный институт Белгипрозем»), а также 31 Навигационно-

топографическом центре Министерства обороны Республики Беларусь, академических и отраслевых научно-исследовательских институтах, проектных и изыскательских организациях Министерства архитектуры и строительства, профильных учреждениях Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, учреждениях различных форм собственности, занимающихся картографо-геодезической деятельностью.

Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь (Госкомимущество) создан в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 5 мая 2006 года № 289 «О структуре Правительства Республики Беларусь» путём присоединения Фонда государственного имущества Министерства экономики к Комитету по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 июля 2006 года № 958 определены основные задачи Государственного комитета по имуществу – проведение единой государственной политики в области земельных отношений, геодезической и картографической деятельности, наименований географических объектов, государственной регистрации недвижимого имущества, прав на него и сделок с ним, по вопросам имущественных отношений (включая управление, распоряжение, приватизацию, оценку и учёт имущества, находящегося в собственности Республики Беларусь), за исключением приватизации жилых помещений государственного жилищного фонда, а также ведение соответствующих кадастров, регистров и реестров.

Руководство Государственным комитетом по имуществу осуществляют Председатель, Первый заместитель Председателя и два Заместителя Председателя. В состав Госкомимущества входят: Управление землеустройства, Управление геодезии и картографии и Отдел кадастра.

Подготовку специалистов с высшим образованием в топографо-геодезической и землеустроительной отраслях реализуют: Белорусский государственный университет (факультет географии и геоинформатики), Белорусский национальный технический университет (кафедра «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»), Полоцкий государственный университет и Белорусская сельскохозяйственная академия (землеустроительный факультет, г. Горки).

1.1.2. Принципы осуществления геодезической и картографической деятельности в Республике Беларусь

Геодезическая и картографическая деятельность в Республике Беларусь регулируется Конституцией Республики Беларусь, актами Президента Республики Беларусь, Законом Республики Беларусь о геодезической и картографической деятельности, принятыми в соответствии с ними иными актами законодательства, содержащими нормы, регулирующие отношения в области геодезической и картографической деятельности.

Геодезическая и картографическая деятельность основывается на принципах:

- государственного регулирования и координации геодезической и картографической деятельности;
- государственного надзора за геодезической и картографической деятельностью;
- системности и непрерывности геодезической и картографической деятельности;
- полноты, достоверности и актуальности геодезических и картографических материалов и данных;
- обеспечения единства измерений при выполнении геодезических и картографических работ;
- применения унифицированных условных знаков и единообразного использования наименований географических объектов при создании и обновлении карт и планов;
- обеспечения равных прав организаций, индивидуальных предпринимателей при осуществлении ими геодезической и картографической деятельности, если иное не установлено законодательными актами;
- ответственности за нарушение законодательства о геодезической и картографической деятельности.

Профессиональный праздник работники картографо-геодезической и землеустроительной службы Беларуси отмечают 21 февраля.

Базовые дисциплины. Знания, полученные при изучении данной учебного предмета необходимы при изучении базовых дисциплин: «Топография с основами геодезии», «Картография», «Методы дистанционных исследований», «Дистанционное зондирование природной среды», «Современные системы дистанционного зондирования Земли».

С современной точки зрения, *геодезия* является точной наукой о фигуре, гравитационном поле, параметрах вращения Земли и их изменениях во времени, методах изучения формы и размеров Земли, изображения её поверхности на картах, а также о методах специальных измерений необходимых для решения инженерных, экономических и других задач. Геодезические методы решения научных и практических задач геодезии основываются на законах математики, астрономии, физики, электроники, оптики и др. В процессе своего развития геодезия разделилась на ряд связанных между собой самостоятельных научных дисциплин – высшую геодезию, геодезическую астрономию, геодезическую гравиметрию, космическую геодезию, топографию, фотограмметрию, фототопографию, инженерную геодезию, геодезическое инструментоведение, геодезическую метрологию и др. К задачам *высшей геодезии* относятся изучение теории и методов основных астрономо-геодезических и гравиметрических работ, выполняемых для построения геодезической, нивелирной и гравиметрической сетей общегосударственного назначения, необходимых для изучения земной поверхности и точного её картографирования на плоскости с учётом возникающих при этом искажений. С 1960-х годов начал интенсивно развиваться новый раздел высшей геодезии – *космическая (спутниковая) геодезия*. Задачами данной дисциплины являются исследование основных параметров и внешнего гравитационного поля Земли и других планет Солнечной

системы по результатам наблюдений искусственных и естественных спутников Земли.

Топография (от греч. «topos» – место, местность и «grapho» – пишу), научно-техническая дисциплина, изучающая земную поверхность и размещённые на ней объекты в геометрическом отношении, с целью изображения их на топографических картах, планах и профилях. Главной задачей топографии является – создание топографических карт и планов. Основной метод изучения земной поверхности – топографическая съёмка. *Топографическая съёмка* – это комплекс (совокупность) полевых измерений на местности и камеральных работ для создания топографических карт земной поверхности в заданном масштабе.

В задачу **картографии** входят вопросы теории и способов изображения на плоскости частей земной поверхности (отдельных государств, регионов, материков, земного шара), а также разработка методов и процессов создания и использования различных (общегеографических, тематических, специальных) карт.

Методы дистанционного зондирования – общее название методов изучения наземных объектов и космических тел неконтактным путём на значительном расстоянии (например, с воздуха или из космоса) различными приборами в разных областях спектра. В зависимости от расположения приёмников дистанционные методы подразделяют на *наземные* (в т.ч. надводные), *воздушные* (атмосферные или аэро-) и *космические*. По типу носителя аппаратуры различают беспилотные, самолётные, вертолётные, аэростатные, ракетные, спутниковые. Отбор, сравнение и анализ спектральных характеристик в разных диапазонах электромагнитного излучения позволяют распознать объекты и получить информацию об их размере, плотности, химическом составе, физических свойствах и состоянии.

1.1.3. Образование и развитие кафедры геодезии и космоаэрокартографии

Обучение по данной специальности осуществляет кафедра геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета.

С начала основания географического факультета БГУ в 1934 году дисциплины картографо-геодезического профиля преподавали на кафедре физической географии, а с 1961 года – на кафедре физической географии материков и океанов.

1 октября 1969 года на географическом факультете БГУ под руководством кандидата географических наук, доцента Виктора Яковлевича Крищановича была создана **кафедра геодезии и картографии**. Коллектив кафедры состоял из шести преподавателей: заведующий кафедрой, доцент Ростислав Афанасьевич Жмойдяк, доцент Борис Андреевич Медведев, старшие преподаватели – Лилия Дмитриевна Мельникова, Сергей Фёдорович Драко

и преподаватель Алий Александрович Беспалый. Крищанович В. Я. заведовал кафедрой до 1980 года.

С 1980 по 2003 год кафедру возглавлял заслуженный работник народного образования Республики Беларусь, кандидат географических наук, профессор, член-корреспондент Международной Академии Наук экологии и безопасности жизнедеятельности Ростислав Афанасьевич Жмойдяк. С 1982 по 1997 год Жмойдяк Р. А. – декан географического факультета БГУ.

В период 2003–2013 годов заведующим кафедрой являлся доктор географических наук, доцент Юрий Максимович Обуховский.

С 2013 по 2023 год кафедру возглавлял кандидат географических наук, доцент Александр Петрович Романкевич.

В 2019 году географический факультет был переименован в **факультет географии и геоинформатики**, а кафедра стала носить название **кафедра геодезии и космоаэрокартографии**.

С 2023 года кафедрой руководит кандидат географических наук, доцент Антонина Анатольевна Топаз.

В разные годы в составе кафедры преподавали как штатные сотрудники, так и совместители, как правило, специалисты предприятий картографо-геодезической отрасли. В последние годы в состав кафедры входит 9–10 штатных сотрудников и 5–6 совместителей.

До 2011 года на кафедре велась подготовка специалистов-географов по специализации «Картография» направления «Научно-педагогическая деятельность» с присвоением квалификации «Географ. Преподаватель географии».

С 2011 года в рамках специальности 1-31 02 01-05 «География» открыто направление «Космоаэрокартография» с присвоением квалификации «Географ. Картограф».

С 2013 года на дневном отделении проводилось обучение студентов по специальности 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» с присвоением квалификации «Географ. Специалист по картографо-геодезической деятельности». В 2015 году была открыта специальность на заочном отделении географического факультета.

С 2023 года на кафедре проводится обучение студентов по специальности 6-05-0532-05 «Космоаэрокартография и геодезия» с присвоением квалификации «Специалист по картографо-геодезической деятельности».

С 2018 года обучение по специальности на первой ступени получения высшего образования (бакалавриат) составляет 4 года. Ведётся преподавание следующих *профильных дисциплин*: «Топография с основами геодезии», «Введение в космоаэрокартографию», «Картография», «Геодезическое инструментоведение», «Современные системы дистанционного зондирования Земли», «Методы дистанционных исследований», «Дистанционное зондирование природной среды», «Высшая геодезия», «Проектирование и составление карт», «Фотограмметрия», «Цифровая модель местности», «Цифровая обработка космических снимков», «Геоинформационное картографирование», «Компьютерная графика и оформление карт»,

«Картографическая топонимика», «Прикладная география», «Математическая картография», «Инженерная геодезия», «Инженерное обустройство территории», «Тематическое картографирование», «Тематическое дешифрирование», «Дистанционная спектрометрия», Индикационное картографирование, «Спутниковые навигационные системы», «Атласная картография», «Технология и организация картографического производства».

Программа подготовки специалистов для картографо-геодезической отрасли включает прохождение практик. Теоретические знания студенты закрепляют во время учебных полевых практик на полигонах *географической станции (ГС) «Западная Березина»* в Воложинском районе. На первом курсе студенты проходят полевую топографическую практику, а на втором курсе – полевую геодезическую практику и дешифрирование аэрокосмических снимков. После третьего курса студенты проходят производственную практику, а на четвёртом – преддипломную.

В распоряжении кафедры на факультете географии и геоинформатики имеется 4 учебные аудитории. На ГС «Западная Березина» – учебный класс для камеральной обработки результатов полевых практик и склад для хранения геодезического оборудования.

Для подготовки студентов по специальности имеется достаточная материально-техническая база. Наряду с традиционными оптико-механическими геодезическими приборами теодолитами и нивелирами имеются глобальные навигационные спутниковые приёмники (ГНСС) геодезического класса точности (одночастотные и двухчастотные), электронные тахеометры, лазерные дальнометры, портативные радиостанции, бинокли и другое оборудование. В 2018 году приобретён гексакоптер *Sovzond Air-Con 3* с мультиспектральной камерой. Для компьютерной обработки спутниковых определений, топографо-геодезических измерений, космической информации, выполнения картографических работ по составлению топографических планов и географических карт используются программные продукты ГИС «Панорама», ArcGIS, AutoCAD, Agisoft Metashape, Adobe Illustrator, Adobe Photoshop, Adobe InDesign, CorelDRAW, пакет программных продуктов Microsoft Office, в том числе и пакеты лицензионных программ Trimble Business Center, Trimble Geomatics Office, ENVI, QGIS и программный комплекс CREDO.

На кафедре действует студенческий *Картографический научный кружок*. Регулярно проводятся заседания с представлением презентаций по актуальным вопросам картографо-геодезической деятельности с участием специалистов профильных предприятий.

Кафедра геодезии и картографии имеет тесные учебно-методические связи со многими профильными кафедрами университетов Республики, в которых преподаются дисциплины по геодезии, топографии, картографии, аэрокосмическим методам географических исследований. Плодотворное сотрудничество связывает кафедру с производственными предприятиями, осуществляющими картографо-геодезическую деятельность: Государственное предприятие «Белгеодезия», РУП «Белкартография», Государственное предприятие БелПСХАГИ, 31-й Навигационно-топографический центр

Министерства обороны Республики Беларусь. Со всеми организациями заключены договоры о совместной деятельности по подготовке молодых специалистов.

Для получения углублённого высшего образования ежегодно ведётся подготовка *магистров* по специальности **7-06-0532-03 «Землеустройство, кадастры, геодезия и геоматика» (профилизации «ГеоMATика»)**. Изучаются дисциплины (часть дисциплин от кафедры): «Геодезические основы карт», «Космическое картографирование», «Навигационная картография», «Инновационные технологии в картографии», «Картографическое моделирование на основе ГИС «Карта». Срок обучения составляет 1 год.

В Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Республики Беларусь для обучения в *аспирантуре* (3 года дневной формы обучения) открыта специальность **25.03.10 «Картография» (географические науки)**.

На кафедре действуют *курсы повышения квалификации* по специальности «Картография» для работников картографо-геодезического профиля Республики Беларусь.

В целях совершенствования и эффективной подготовки студентов специальности на основе современных научных исследований, непосредственно в условиях топографо-геодезического и картографического производства, прохождения всех видов практик и дальнейшего трудоустройства выпускников 18 мая 2015 года создан *филиал кафедры* на базе Государственного предприятия «Белгеодезия» Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь.

Основными направлениями научных исследований кафедры являются:

- тематическое картографирование природных и социально-экономических объектов и явлений;
- спутниковые и цифровые методы в геодезии и топографии;
- дистанционное зондирование природной среды;
- современные технологии обработки космической информации.

Выполняются научно-исследовательские проекты с привлечением студентов специальности по темам: «Триангуляционные геодезические сети Центральноевропейского Градусного измерения Дуги 52° параллели на территории Беларуси», «Цифровая обработка космических снимков для целей тематического картографирования», «Разработка концепции атласно-информационной системы как составной части инфраструктуры пространственных данных», «Становление картографического производства в Беларуси», «Методика и технология построения трёхмерного картографического изображения», «Обследование центров нивелирных сетей г. Минска» и др.

Студенты кафедры принимают участие в вузовских, Республиканских и международных научных конференциях, семинарах, чтениях.

1.1.4. Международные организации

Международный геодезический и геофизический союз (МГГС) – неправительственная организация, занимающаяся изучением Земли

с использованием геодезических и геофизических методов, а также защитой окружающей среды, уменьшением ущерба от стихийных бедствий, полезными ископаемыми. Основана в 1919 году.

В состав МГТС входят 8 ассоциаций, 3 комиссии и 1 комитет.

Ассоциации:

- 1) Международная ассоциация криосферных наук (МАКН),
- 2) Международная ассоциация геодезии (МАГ),
- 3) Международная ассоциация геомагнетизма и аэрономии (МАГА),
- 4) Международная ассоциация гидрологических наук (МАГН),
- 5) Международная ассоциация метеорологии и атмосферных наук (МАМАН),
- 6) Международная ассоциация физических наук об океане (МАФНО),
- 7) Международная ассоциация сейсмологии и физики недр Земли (МАСФНЗ),
- 8) Международная ассоциация вулканологии и химии недр Земли (МАВХНЗ).

Комиссии:

- 1) Комиссия по геофизическим рискам и устойчивому развитию,
- 2) Комиссия по математической геофизике,
- 3) Комиссия союза по данным и информации,
- 4) Комитет по изучению недр Земли.

Международная ассоциация геодезии – некоммерческая общественная организация, в первоначальном виде основанная в 1862 году. Входит в состав Международного геодезического и геофизического союза (МГТС). Своим назначением Ассоциация провозглашает развитие геодезии путём:

- совершенствования теории в результате исследований и образования;
- сбора, анализа, моделирования и интерпретации данных наблюдений;
- стимулирования технологического развития;
- согласованного описания формы, вращения и гравитационного поля Земли и других планет.

Общее руководство Ассоциацией осуществляют президент и вице-президент. Организационной работой руководит генеральный секретарь. Руководящими органами являются Совет, Исполнительный комитет и Бюро. В Ассоциации созданы четыре комиссии, ответственные за развитие крупных направлений:

- комиссия 1 – отсчётные основы;
- комиссия 2 – гравитационное поле;
- комиссия 3 – вращение Земли и геодинамика;
- комиссия 4 – определение координат и прикладные задачи.

В свою очередь комиссии делятся на 24 подкомиссии и образуют рабочие и исследовательские группы, в которых сосредоточивается научная работа.

Международная ассоциация геодезии на регулярной основе проводит генеральные и научные ассамблеи, конференции и симпозиумы. Издаёт Геодезический журнал, вестник МАГ, справочник геодезиста, специальные публикации и труды симпозиумов.

Международные геодезические исследования ведутся на трёх уровнях.

Первый уровень – это определение положений точек на земной поверхности относительно местных опорных пунктов, что необходимо для составления топографических карт.

Второй уровень – съёмка местности в масштабах всей страны, осуществляемая по отношению к глобальной опорной сети и учитывающая кривизну земной поверхности.

Третий уровень – глобальная (высшая) геодезия – определение фигуры Земли и исследование её гравитационного поля.

Международная ассоциация геодезии была образована в 1862 году. В этом году прусский геодезист генерал Иоганн Байер сформулировал «Предложения по центральноевропейским градусным измерениям». Цель предлагавшегося в документе международного сотрудничества состояла в том, чтобы связать многочисленные центрально-европейские обсерватории триангуляционными сетями и определить региональные и локальные аномалии кривизны фигуры Земли. К концу 1862 года 16 стран, включая Российскую империю, выразили своё согласие участвовать в проекте.

В октябре 1864 года в Берлине состоялась первая «Генеральная конференция представителей для центральноевропейских градусных измерений». Конференция согласовала организационную структуру – образованы Постоянная комиссия, Центральное бюро и Генеральные конференции. К проекту вскоре присоединились практически все европейские страны, а затем и ряд стран Азии и Америки. В 1886 году организация получила наименование «Международная геодезическая ассоциация».

Первым президентом вновь созданной организации в 1864 году стал И. Байер, этот пост он бессменно занимал вплоть до 1885 года.

Из-за проблем, возникших в связи с Первой мировой войной Ассоциация была реструктурирована и в 1919 году стала частью Международного союза геодезии и геофизики. Своё современное название организация приобрела в 1946 году.

Международная картографическая ассоциация (МКА), является организацией, состоящей из национальных членских организаций, для предоставления форума по обсуждению вопросов и методов в картографии. МКА была основана 9 июня 1959 года в Берне, Швейцария. Первая Генеральная ассамблея состоялась в Париже в 1961 году. Миссия Международной картографической ассоциации состоит в продвижении дисциплин и профессий картографии и геоинформационных систем (ГИС) в международном контексте. Для достижения этих целей Ассоциация работает с национальными и международными правительственными и коммерческими организациями.

Международное общество фотограмметрии и дистанционного зондирования (МОФидЗ) – это международная неправительственная организация, которая укрепляет сотрудничество между государственными, международными и всемирными организациями, заинтересованными в развитии фотограмметрии, дистанционного зондирования Земли и пространственной информации.

1.2. Создание геодезических сетей на территории Беларуси

При изучении данной темы следует иметь ввиду, что в прошлом государственные геодезические сети Республики Беларусь представляли собой единую часть геодезических сетей дореволюционной России, а затем бывшего Союза Советских Социалистических Республик (СССР).

Активное развитие и практическое применение геодезических методов в России относится к периоду с конца XVIII по начало XX века.

Начало организации в России военно-топографической службы связано с учреждением в 1763 году Генерального штаба, который руководил действиями многочисленных армий и манёвренных соединений. К концу XVIII века на территории России были определены координаты 67 астрономических пунктов.

В 1797 году было создано Депо карт, преобразованное в 1812 году в Военно-топографическое депо, а затем в 1822 году – в Корпус военных топографов (КВТ).

1.2.1. Плановая геодезическая сеть

Для точного и детального картографирования территории государства требовалось проведение широкомасштабных работ по созданию геодезической основы.

Отечественная война 1812 года показала отсталость Российской империи в вопросе создания надёжных и точных военно-топографических карт. Имеющиеся в то время карты не удовлетворяли требованиям ни по содержанию, ни по точности. Стало очевидно, что ранее созданные топографические карты необходимо заменять новыми, полученными по результатам более точных съёмок местности. Эти работы нуждались в проведении фундаментальной геодезической съёмки и установлении общей координатной основы. Точные карты могли быть составлены только при выполнении топографических съёмок на основе геодезических сетей, созданных методом *триангуляции*.

Метод триангуляции представляет собой определение плановых координат пунктов на основе измерения всех углов и отдельных сторон в примыкающих друг к другу треугольниках. В первую очередь было решено начинать картографирование по новым требованиям с западных рубежей Российской империи. Поэтому сразу же на территории современной Республики Беларусь стали разворачиваться обширные астрономо-геодезические и топографические работы, которые впоследствии возглавил Корпус военных топографов.

20 мая 1812 года Александр I лично дал указание П. М. Волконскому (с 1815 года начальник Главного штаба, а с 1816 по 1823 год – директор Военно-топографического депо) произвести «съёмки позиции от Гродно между почтою Радзивонишки и Лидою при речке Дзитве». Начались работы по выполнению тригонометрических съёмок Виленской губернии для картографирования западных территорий Российской империи.

Таким образом, началом построения плановой геодезической сети на территории Беларуси следует считать 1816 год.

Первые астрономо-геодезические измерения проводились на территории Беларуси с 14 февраля по 29 марта 1817 года под руководством Карла Ивановича Теннера (1783–1860 годы). Было выполнено измерение Дрисвятского основания (базиса) протяжённость которого составила 5 407,150 сажень, или 11 536,695 м. В том же году после детального обследования территории Виленской губернии К. И. Теннер подготовил проект для выполнения измерений ряда триангуляции, состоящего из высокоточных (первоклассных) геодезических пунктов, расположенных в меридиональном направлении для проведения градусных измерений. В это же время знаменитый российский учёный, профессор астрономии и геодезии Дерптского университета (с 1819 по 1939 годы. директор Дерптской обсерватории) Василий Яковлевич Струве (1793–1864 годы) приступил к астрономо-геодезическим работам для картографирования территории в пределах бывшей Лифляндской губернии. Каждый из них, приступая к работе, не предполагал, что начатое ими дело завершится грандиозным измерением, простирающимся от Северного Ледовитого океана до устья Дуная, которое будет иметь впоследствии огромное значение в мировой геодезической науке.

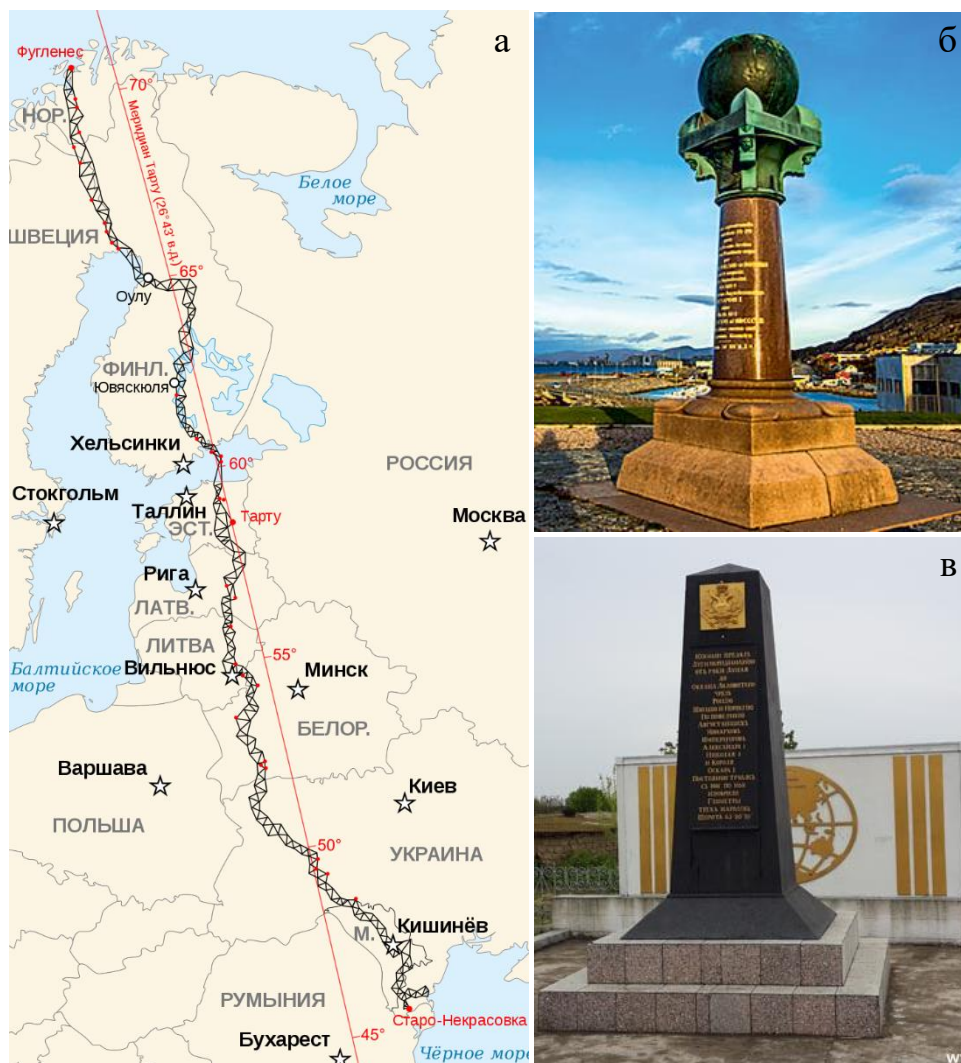
Сама идея дальнейшего расширения градусных измерений, выполненных на западных рубежах Российской империи путём соединения с аналогичными работами в Лифляндии, возникла у К. И. Теннера на белорусской земле и, по сути, Беларусь можно считать родиной этого грандиозного геодезического измерения. Непосредственно геодезическое соединение было произведено в 1828 году поручиком Иосифом Ивановичем Ходзько (1800–1881 годы) уроженцем м. Кривичи Виленской губернии (в последствии – генерал-лейтенант Генерального штаба российской армии, военный геодезист, один из великих геодезистов с мировым именем).

В целом, градусное измерение представляло непрерывную цепь из 265 геодезических пунктов, образовавших 258 треугольников (рисунок 1а) и протянулось вдоль меридиана 25° восточной долготы ($25^{\circ}20'08''$) от пункта «Фугленес» (г. Хаммерфест, Норвегия) на севере до пункта «Старо-Некрасовка» (недалеко от г. Исмаил Одесской области, Украина) на юге (рисунок 1б–в). Общая протяжённость составила 2 820 км, объединяя 12 отдельных дуг меридиана, 10 базисов и 13 астрономических пунктов.

К 1855 году было завершено русско-скандинавское градусное измерение. Исходным пунктом при вычислении координат пунктов Дуги Струве принималась астрономическая обсерватория в Дерпте (г. Юрьев, ныне г. Тарту, Эстония), а за поверхность относимости – эллипсоид Бесселя.

Это градусное измерение, названное позднее *«Дугой Струве»*, стало выдающейся работой по геодезии и оказало решающее влияние на развитие теорий и методов астрономо-геодезических работ во всём мире. Оно выполнялось с целью определения геометрических параметров Земли, её формы и размеров и оказалось самым точным и протяжённым градусным измерением в мире. Подробные результаты измерений и вычислений были изложены

в двухтомном отчёте В. Я. Струве «Дуга меридиана между Дунаем и Ледовитым морем» (Санкт-Петербург, 1861 год).



а – Дуга Струве на современной карте;
 б – северный пункт «Фугленес» (Норвегия);
 в – южный пункт «Старо-Некрасовка» (Украина)
 Рисунок 1 – Градусное измерение «Дуга Струве»

Василий Яковлевич Струве разработал названный его именем способ измерения углов триангуляции, исследовал влияние рефракции на результаты измерения углов и создал наилучший для того времени базисный прибор, применявшийся в течение всего XIX века.

К. И. Теннер составил первую в России «Инструкцию по триангуляции», где ввёл деление триангуляции на классы точности и наметил научные принципы её построения. Ряды триангуляции 1 класса располагались по направлению меридианов цепочками из треугольников, близких к равносторонним, с длиной стороны порядка 25 вёрст. Сети триангуляции строили из разных фигур. В России был принят треугольник, в США преобладал геодезический

четырёхугольник. К. И. Теннер сконструировал один из типов базисного прибора, который позволял измерять базисы с точностью до $1/300\,000$.

Эти градусные измерения в дальнейшем явились основой создания плановых геодезических сетей на территории Беларуси.

После завершения работ меридианного градусного измерения по предложению В. Я. Струве было принято решение, что необходимым естественным дополнением будет создание триангуляционного ряда через всю территорию Европы вдоль некоторой параллели. Изучив и проанализировав материалы геодезических измерений в Европе и западной части России, было выбрано направление вдоль параллели 52° северной широты от Хаверфордвеста в Англии на западе до Орска на р. Урал (Россия) на востоке. Для цельного построения ряда триангуляции предполагалось соединить имеющиеся отдельные измерения, выполненные в разные годы, а в случае отсутствия таковых – выполнить новые.

Непрерывный ряд треугольников К. И. Теннера был проложен от прусской границы через всю территорию Царства Польского до Слуцка. Далее на восток до Чечерска пролегла триангуляция, выполненная под руководством К. И. Теннера и Ф. Ф. Шуберта. От Чечерска до Ельца тригонометрические работы были выполнены Ф. Ф. Шубертом и К. Д. Обергом в 1847–1849 годах.

В течение 1861–1867 годов были проведены дополнительные работы для реализации этого градусного измерения. В окрестностях Бобруйска проложили новый ряд триангуляции для прямого соединения тригонометрических пунктов Минской и Могилёвской губерний. Был измерен базис вблизи Рогачёва и определены посредством телеграфа разности долгот между пунктами градусных измерений. Под руководством начальника градусного измерения полковника Э. И. Форша (с 1863 по 1870 год), капитана Иосифа Ипполитовича Жилинского (с 1863 года помощник начальника, а с 1870 по 1874 год – начальник градусного измерения) и прусского астронома Р. Ю. Тиле были выполнены астрономические работы в Гродно и Бобруйске и нивелировка между крайними пунктами Минской и Черниговской губерний.

К 1873 году работы по градусному измерению вдоль 52° параллели были завершены. Все вычисления триангуляции первоначально были выполнены под руководством И. И. Жилинского. Окончательные вычисления дуги параллели в пределах России от Орска до Ченстохова производились с 1886 по 1890 год под общим руководством генерал-лейтенанта И. И. Стебницкого. По результатам этих градусных измерений А. М. Жданов в 1893 году произвёл одно из известных определений размеров земного эллипсоида.

Градусное измерение вдоль параллели 52° с. ш. имеет протяжённость по долготе $63^\circ 31'$, т. е. более шестой части всей параллели, что в линейном выражении составило более 4 360 км. На территории современной Беларуси протяжённость по долготе составила $7^\circ 57'$, что в линейном выражении составляет более 530 км (рисунок 2). В настоящее время это измерение известно, как *Центральноевропейская дуга 52° с. ш.*



Рисунок 2 – Триангуляция Центральноевропейского градусного измерения дуги параллели 52° с. ш. на территории современной Беларуси

Результаты градусных измерений были использованы в качестве геодезической основы при выполнении дальнейших триангуляций и топографических съёмок для картографирования территории государства.

В 1874 году создана Западная экспедиция, в зону деятельности которой вошло Полесье. Её руководителем и составителем Генерального плана работ был назначен начальник триангуляции Полесья И. И. Жилинский. Генеральный план осушения Полесья не имел аналогов в мире. Охватывая площадь свыше 8 миллионов десятин (1 десятина приблизительно равна 1,09 га), он получил международное признание. На Парижской выставке 1878 года план был награждён дипломом, а его автор И. И. Жилинский – золотой медалью.

В разные годы на территории Беларуси выполнялись обширные триангуляционные работы: в Полесье под руководством И. И. Жилинского, по р. Нёман – В. М. Шульгина, по западной границе – Ф. А. Шульца, И. Н. Погоновского, К. М. Никифорова, Н. А. Емельянова, А. Н. Бонсдорфа и др. Были созданы триангуляции в Виленской, Гродненской, Минской, Могилёвской, Полесской губерниях.

К середине XIX века на основе градусных измерений был выполнен ряд определений размеров земного эллипсоида. Русский военный геодезист Ф. Ф. Шуберт в 1859 году впервые высказал мысль о возможной трёхосности Земли и определил размеры трёхосного земного эллипсоида. Дальнейшие исследования показали, что фигура Земли имеет сложный вид и не может быть точно представлена какой-нибудь геометрической фигурой. Отсюда возникло понятие о *геоиде*, введённое немецким физиком Иоганном Бенедиктом Листингом (1808–1882 годы) в 1873 году и наметились методы изучения фигуры геоида по результатам астрономо-геодезических и гравиметрических измерений.

Земные эллипсоиды. Определение широт и долгот первых губернских сетей триангуляции проводилось по параметрам земного эллипсоида Вальбека, принятого для проведения геодезических изысканий в России с 1819 года.

В 1821–1824 годах немецкий учёный К. Ф. Гаусс в Ганновере выполнил градусное измерение по дуге меридиана протяжённостью около 2°. В 1831–1834 годах немецкий астроном Ф. В. Бессель произвёл небольшое градусное измерение в Восточной Пруссии. Он сконструировал базисный прибор, применявшийся в Германии до начала XX века. Гаусс и Бессель разработали новые способы решения геодезической задачи на поверхности земного эллипсоида. В 1828 году К. Ф. Гаусс предложил принять за математическую поверхность Земли уровенную поверхность потенциала силы тяжести, совпадающую со средним уровнем моря. По результатам Ганноверской триангуляции Ф. В. Бессель выполнил вычисления параметров эллипсоида Земли и опубликовал их в 1841 году. Параметры земного эллипсоида, вычисленные различными исследователями представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры земного эллипсоида, вычисленные различными учёными в XIX веке.

Фамилия учёного	Параметры земного эллипсоида			Год
	Большая полуось, м	Малая полуось, м	Сжатие	
Вальбек	6 376 896	6 355 833	1:302,8	1819
Бессель	6 377 397	6 356 079	1:299,2	1841
Теннер	6 377 096	6 356 025	1:302,5	1844
Шуберт	6 378 547	6 356 011	1:283,0	1861
Жданов	6 377 717	6 356 433	1:299,7	1893

Исходные меридианы. Все градусные и триангуляционные измерения, которые выполнялись до этого времени были, в основном, не согласованы между собой. Ориентирование в разные годы выполнялось относительно разных исходных меридианов Дерптского (Юрьевского), Парижского, Петербургского и Пулковского.

Дерптский меридиан принимался как исходный в части дуги Струве, построением которой руководил в. В. Я. Струве. Как правило, при выборе исходного меридиана за точку отсчёта принимается центр круглого зала астрономической обсерватории.

Парижский меридиан принимался в качестве исходного при построении сетей триангуляции, проводимых под руководством К. И. Теннера в Виленской, Гродненской и Минской губерниях.

В начале XVIII века *Петербургский меридиан*, проходящий через астрономическую обсерваторию Петербургской Академии наук, принимался исходным и использовался при топографо-геодезических работах, в том числе, и при тригонометрической съёмке Витебской и Могилёвской губерний. Ориентирование осуществлялось относительно Петербургского меридиана, проходящего через центр астрономической обсерватории Петербургской

Академии наук. Петербургский меридиан принимался в качестве исходного в измерениях Ф. Ф. Шуберта.

В 1839 году открыта Пулковская обсерватория и первым директором стал В. Я. Струве. Начиная с 1844 года ориентирование геодезических сетей осуществлялось по *Пулковскому меридиану*, проходящему через центр круглого зала Пулковской обсерватории. Относительно Пулковского меридиана производились расчёты русской части Центральноевропейского градусного измерения дуги параллели 52° с. ш.

1.2.2. Предпосылки создания единой геодезической сети

К концу XIX века почти на всей территории европейской части России были созданы ряды высокоточных сетей триангуляции 1 класса. Однако при объединении триангуляций, выполненных в разные годы, обнаруживались существенные несогласия. Требовалось выполнить математическое уравнивание всех измерений и объединить их в единую систему. Общее уравнивание было начато в 1897 году под руководством профессора К. В. Шарнгорста. К 1907 году была перевычислена только триангуляции 1 класса, в количестве 3 236 пунктов.

В 1907 году сформирована комиссия для разработки программы построения единой государственной геодезической сети для всей территории, во главе которой был назначен Иллиодор Иванович Померанцев (1847–1921 годы). И. И. Померанцев с 1911 по 1917 годы возглавлял Корпус военных топографов и Военно-топографический отдел Главного управления Генерального Штаба.

По проекту работ основные первоклассные ряды треугольников должны были прокладываться вдоль меридианов и параллелей с расстоянием между поперечными рядами примерно 300–350 вёрст. В узловых точках соединения рядов триангуляции предполагалось измерять шесть базисов, определять астрономические широты, долготы и азимуты, а также значения ускорения силы тяжести. К 1914 году основная часть работ была выполнена. На всей территории к западу от Минска были созданы ряды триангуляции 2 класса. В этот период полковником Я. И. Алексеевым были начаты астрономические наблюдения азимута Гомельского базиса и широты северного его окончания. Научное развитие геодезических работ обеспечивалось, кроме специалистов КВТ, также научными работниками Московского Межевого Института, Академии наук, Пулковской обсерватории, Географического общества, Русского Астрономического общества. Значительный вклад в геодезическую науку внесли такие учёные-специалисты, как А. П. Болотов, К. И. Деллен, К. Х. Рейссиг, В. Я. Струве, К. И. Теннер, И. И. Ходзько, Ф. Ф. Шуберт, В. В. Витковский, Д. Д. Геденов, И. И. Стебницкий, М. В. Певцов, А. Н. Бик и многие другие.

Рассматривая геодезические *системы координат (СК)* как системы отсчёта, их эволюцию можно связать со следующими именами мыслителей: Аристотель (шар как система отсчёта), И. Ньютон, Ф. Р. Гельмерт (эллипсоид вращения), К. Ф. Гаусс, И. Б. Листинг (геоид), М. С. Молоденский (квазигеоид). Как итог всего развития, в XX веке получают распространение единые

геодезические отсчётные модели Земли. В 1924 году Международная ассоциация геодезистов (МАГ) выбрала *эллипсоид Хейфорда* в качестве международного эллипсоида. С этого времени центральной задачей геодезии становится *определение системы геодезических координат и фигуры Земли (ФЗ)* с помощью астрономо-геодезических и гравиметрических данных.

1.2.3. Создание астрономо-геодезической сети СССР. Единая схема и программа ГГС

В 1919 году организовано Высшее геодезическое управление (ВГУ) при Высшем совете народного хозяйства (ВСНХ). Руководителем ВГУ был назначен Михаил Дмитриевич Бонч-Бруевич (1870–1956 годы).

В 1926 года на I Геодезическом совещании было принято решение о введении в СССР *эллипсоида Бесселя*. В том же году была составлена Программа наблюдения при астрономических определениях на базисах первоклассной триангуляции.

В 1928 году разработана Схема и программа государственной опорной геодезической сети под руководством Феодосия Николаевича Красовского (1878–1948 годы). В 1928 году по его инициативе создан ***Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэрофотосъёмки и картографии (ЦНИИГАиК)***.

Схема государственной триангуляции, предложенная Ф. Н. Красовским, нашла полное отражение в инструкциях по триангуляции 1 класса 1928 года и инструкции по триангуляции 2 класса 1930 года. В своей работе он рассмотрел полигональную схему построения триангуляции 1 класса, предложенную И. И. Померанцевым. По этим программам и схемам были проложены ряды триангуляции 1 класса, образующие при взаимном пересечении полигоны с периметром 800–1000 км. Работы по уравниванию 8 полигонов 1 класса Европейской части СССР были завершены в 1932 году. Вычисления проводились на эллипсоиде Бесселя. За исходный пункт был принят центр круглого зала Пулковской обсерватории. Принятая система координат получила название «*Система координат 1932 года*». В те же годы в ЦНИИГАиК под руководством Ф. Н. Красовского и Александра Александровича Изотова (1907–1988 годы) начались работы *по определению эллипсоида, наилучшим образом подходившего для территории СССР*.

В феврале 1932 года было организовано Белорусское геодезическое управление (БГУ) Главного геодезического управления (ГГУ) Наркомтяжпрома СССР. Управленческий аппарат БГУ базировался в Минске, а производственный – в Гомеле и Новобелице. В 1934 году БГУ было реорганизовано в Белорусское отделение Северо-Западного предприятия Аэросъёмки, которое выполняло геодезические работы в Беларуси до 1936 года. Работы охватывали Мстиславский, Оршанский, Минский, Толочинский, Суражский, Хойникский, Комаринский и другие районы Республики. Численность геодезистов и топографов достигала почти 200 человек.

Дальнейшее развитие астрономо-геодезической сети связано с разработкой и научным обоснованием Ф. Н. Красовским фундаментальной программы построения государственной триангуляции, которая нашла отражение в «Основных положениях о построении государственной опорной геодезической сети СССР» (1939 год). Основным методом построения астрономо-геодезической сети была принята триангуляция. *Государственная геодезическая сеть (ГГС)* подразделялась на классы точности и строилась по принципу перехода от общего к частному. Опорной сетью являлась триангуляции 1 класса. Ряды триангуляции 1 класса образовывали полигоны протяжённостью 200–250 км.

Система координат 1942 года (СК-42). После Великой Отечественной войны страна приступила к восстановлению разрушений во время войны. Требовались новые топографические съёмки в масштабах 1:10 000 и крупнее. Основные положения о ГГС 1939 года уже не удовлетворяли требованиям, предъявляемым народным хозяйством к точности ГГС и масштабам государственной топографической съёмки. Согласно новым требованиям, предлагалось, что государственная триангуляция и полигонометрия делились на три класса. Первый класс делился на ряды и сети. Ряды и сети триангуляции и полигонометрии высших классов относились к *астрономо-геодезической сети (АГС)* и вместе с нивелированием I и II классов предназначались для использования в научных исследованиях, связанных с определением формы и размеров Земли как планеты, с изучением деформаций земной коры, определением средних уровней морей и океанов и т. д. Ряды триангуляции 1 класса должны заблаговременно распространять на территорию СССР единую и стабильную систему геодезических координат. Ряды триангуляции надлежало прокладывать полигонами периметром 800 км. На концах базисных выходных сторон звеньев должны выполняться астрономические наблюдения. Такие пункты ГГС получили название «*пункты Лапласа*». Внутри полигонов создавались ряды триангуляции 2 класса, которые в свою очередь заполнялись рядами триангуляции 3 класса. Таким образом, выполнялось *сгущение геодезической сети*.

В 1942 году начались работы по переуравниванию АГС СССР. Совместным решением Главного управления геодезии и картографии (ГУГК) и Военно-топографического управления Генерального Штаба Министерства Обороны (ВТУ ГШ МО) от 4 июня 1942 года в качестве референц-эллипсоида при уравнивании был принят *эллипсоид* (в последующем получивший имя *Красовского*) со следующими параметрами: большая полуось $a = 6\,378\,245,0$ м полярное сжатие $\alpha = 298,3$. К 1946 году было измерено 87 полигонов 1 класса и после их уравнивания в качестве государственной была принята *система координат 1942 года (СК-42)*. Постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 года №760 на основе результатов выполненного уравнивания была введена единая система геодезических координат и высот на территории СССР – система координат 1942 года. Триангуляция, построенная в соответствии с программой Ф. Н. Красовского, характеризовалась погрешностями определения взаимного положения смежных пунктов около 0,3 м.

После 1946 года, когда были приняты параметры нового эллипсоида, более подходящего для территории нашей страны по обработке астрономо-геодезических построений и картографированию, была установлена система исходных геодезических дат с началом в пункте Пулково и поверхностью относимости в виде референц-эллипсоида Красовского. Впервые для вывода параметров эллипсоида были использованы *гравиметрические данные* как на территории СССР, так и на зарубежной территории.

Дальнейшее развитие государственной сети развивалось в соответствии с «Основными положениями о построении государственной геодезической сети СССР» (1954–1961 годы). Внесённые некоторые изменения в 1954 году, позволили повысить точность и жёсткость сети. В 1954 году были приняты новые исходные геодезические даты. За исходный пункт был принят центр сигнала «А» Пулковской обсерватории.

Сеть построена в виде полигонов 1 класса периметром около 800 км, в отдельных районах вместо полигонов развита сплошная сеть триангуляции 1 класса. Звенья полигонов, а также геодезические сети 2, 3 и 4 классов построены методами триангуляции и полигонометрии (рисунок 3).

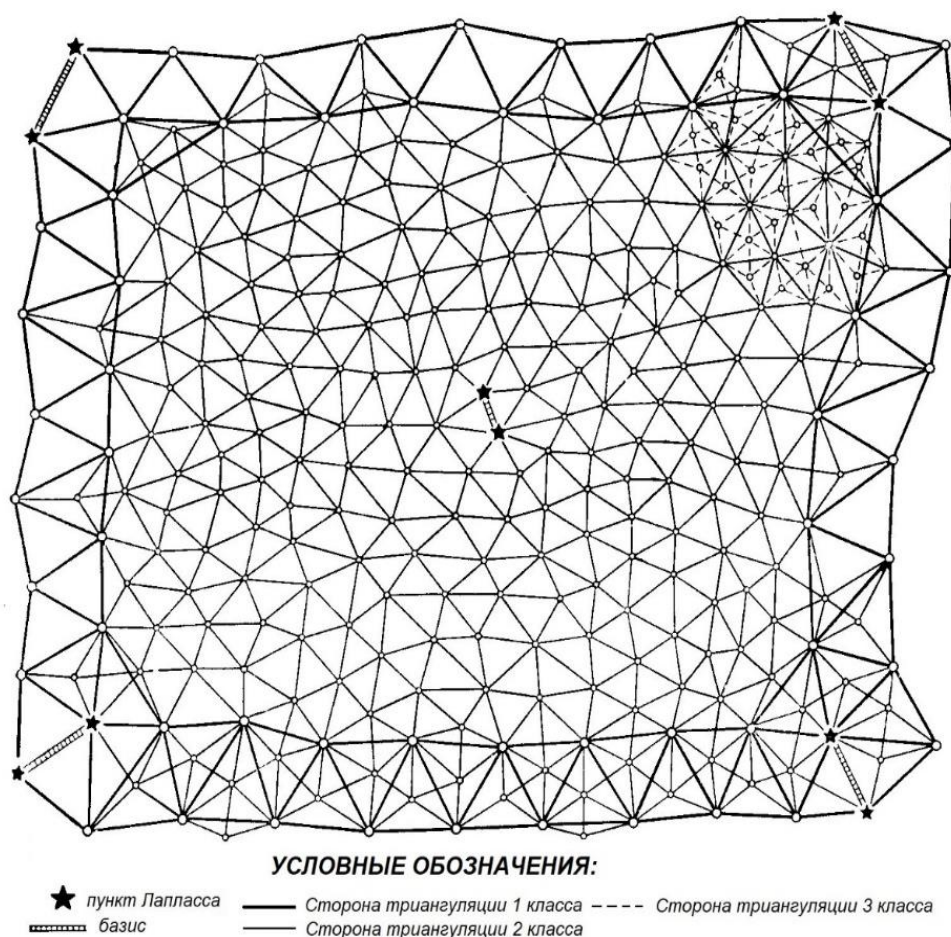


Рисунок 3 – Схема сгущения Государственной геодезической сети (ГГС)

Метод полигонометрии (от греч. «poligonos» – многоугольный и «metreo» – измеряю) состоит в определении координат пунктов посредством измерения углов и длин сторон в полигонометрических ходах, прокладываемых обычно между пунктами триангуляции.

Начиная с 1970 года, в связи с появлением современных высокоточных дальномеров, наряду с методом триангуляции в создании геодезических сетей начали применяться методы полигонометрии и частично трилатерации.

Метод трилатерации (от лат. «trilaterus» – трёхсторонний) заключается в вычислении координат опорных пунктов из измерений длин линий сторон сети треугольников.

Работы выполнялись в соответствии с «Инструкцией по полигонометрии и трилатерации» 1976 года. Получило дальнейшее развитие создание сети методом полигонометрии 1 и 2 класса.

В это время основные топографо-геодезические работы на территории Беларуси выполняло, созданное в 1947 году в Минске *Западное аэрогеодезическое предприятие* (в последствии – *предприятие № 5 ГУГК при Совете Министров (СМ) СССР*, а ныне *Государственное предприятие «Белгеодезия»*). Предприятие проводило геодезические, топографические и картографические работы на территории Беларуси, Латвии, Литвы, Эстонии и Калининградской области.

К началу 1960-х годов, в предприятии была образована структура, полностью обеспечивающая технологическую цепочку всего комплекса картографо-геодезических работ. Были образованы и укомплектованы необходимым числом специалистов и техническими средствами следующие производственные подразделения:

- 5 топографо-геодезических экспедиций;
- цех фотограмметрических и стереотопографических работ;
- цех фотолабораторных, фотомеханических и полиграфических работ;
- 2 цеха подготовки топографических планов и карт к изданию;
- цех подготовки и хранения материалов;
- цех по ремонту и исследованию геодезических инструментов.

К концу 1970-х годов вся территория Беларуси была обеспечена пунктами государственной геодезической сети, плотность которых создавала необходимые условия для выполнения топографических съёмок масштаба 1:10 000, а в отдельных районах – масштаба 1:5 000. К этому времени, все города, посёлки городского типа и территории интенсивного мелиоративного строительства были обеспечены планами масштаба 1:2 000.

По состоянию на 1997 год на территории Беларуси было определено 2 509 пунктов астрономо-геодезической сети. АГС включала в себя: ряды триангуляции 1 класса и сплошные сети 1 и 2 классов.

Дальнейшее развитие ГГС Республики Беларусь исходило из принятой концепции единства геодезических сетей России и Беларуси. С этой целью пункты ГГС Беларуси были связаны с государственной геодезической сетью России в рамках согласованного технического проекта.

Для осуществления топографо-геодезической и картографической деятельности на территории Республики Беларусь применяются введённые постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1 065 от 12 июля 1999 года «О государственной системе координат, высот, гравиметрических измерений и масштабном ряде топографических карт и планов на территории Республики Беларусь» *единая система геодезических координат 1942 года (СК-42) и Балтийская система высот 1977 года.*

Начальным пунктом для отсчёта координат является *пункт Пулково*. Отсчёт высот ведётся от *нуля Кронштадтского футштока*.

СК-42 являлась основной системой координат, принятой для использования на территории бывшего Советского Союза.

Система координат 1963 года (СК-63). В период ядерного противостояния на рубеже 1950–1960-х годов для того, чтобы исключить возможность точного прицеливания баллистических и крылатых ракет, в СССР была введена и массово внедрена в практику специальная трансформированная *система координат 1963 года (СК-63).*

Зона применения СК-63 – территория бывшего СССР, части прилегающих к советской территории морей и ближайшего приграничья. Территория СССР разделена на регионы сложной формы – *районы СК-63*, каждому из которых соответствовала определённая прописная буква латинского алфавита (за исключением N, O, Z). Вся территория была разграфлена на частично перекрывающиеся области неправильной формы размером в несколько регионов, которым присвоены буквенные обозначения (P, C и др.). Эти области отмечены на специальных бланковых картах. В пределах области карты пронумерованы двумя цифрами – номер горизонтального ряда (нумерация отсчитывается с юга на север) и номер вертикальной колонны (нумерация отсчитывается с запада на восток), которые и записываются в номенклатурный номер после буквы, что и составляет номенклатуру масштаба 1:100 000. Каждый район СК-63 состоит из массива номенклатурных карт масштаба 1:100 000 (самых мелкомасштабных в СК-63) и разбит на зоны, имеющие ширину 3° или 6°. В СК-63 используются карты и более крупного масштаба: 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000. Их номенклатура «внутри» масштаба 1:100 000 строится по стандартному для СК-42 принципу.

В настоящее время имеется возможность определять точные координаты методами спутниковой геодезии, кроме того, коммерчески доступна точно привязанная съёмка с разрешением 0,6 м.

Система координат СК-63 была отменена Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 25 марта 1987 года № 378-85, однако разрешено использование созданных в ней топографо-геодезических и картографических материалов. Официально отменив СК-63 (но не открыв параметры искажений), продолжается использование СК-63, потому что существуют огромные фонды крупномасштабных карт в этой системе, кроме того, земельный кадастр многих регионов Республики Беларусь создан в этой системе координат.

1.2.4. Высотная геодезическая сеть

Высотная геодезическая сеть представляет собой совокупность геодезических пунктов, закреплённых на местности специальными центрами, обеспечивающими установление системы отсчёта высот.

Построение высотных сетей и определение превышений высот пунктов геодезических сетей и, в целом, земной поверхности на территории Беларуси относится к началу создания первых триангуляций и топографических съёмок. В 1816 году приступая к выполнению градусных измерений и, в дальнейшем, к триангуляциям Виленской, Гродненской, Курляндской и Минской губерний К. И. Теннер установил обязательное измерение зенитных расстояний и вычисление абсолютных высот геодезических пунктов (до 1816 года при всех экспедиционных и геодезических работах использовалось *барометрическое нивелирование*). В результате обширного *тригонометрического нивелирования* была получена разность уровней Балтийского и Чёрного морей, а позже, уже другими геодезистами в 1836 году – Чёрного и Каспийского морей.

Начиная с 1821 году высоты пунктов определялись относительно высоты над поверхностью Балтийского моря *центра сигнала 1 класса «Полаген» (Паланга)*, расположенного «около полторы версты от морского берега». В море был оборудован временный футшток, на котором отмечался уровень поверхности воды в спокойном состоянии.

В дальнейшем, гидрограф Михаил Францевич Рейнеке (1801–1859 годы) по результатам наблюдений в Кронштадте и Таллине за период 1825–1840 годов вычислил средний уровень Балтийского моря. Уровень был зафиксирован горизонтальной чертой («черта Рейнеке») в устье моста через Обводной канал в г. Кронштадте.

В 1845 году введено обязательное измерение вертикальных углов при выполнении топографических съёмок. С 1868 года измерение вертикальных углов выполнялось с помощью *кипрегеля с дальномером*.

На первой геодезической конференции в Берлине в 1864 году было принято решение выполнять *геометрическое нивелирование* по железным дорогам для точного определения разностей уровней морей.

В Российской империи систематические работы по передаче высотных отметок начались в 1871 году. Было принято решение закреплять нивелирные линии постоянными знаками – *реперами* в виде круглых чугунных дощечек, названных *нивелирными марками*.

Первые масштабные нивелирные работы на территории Беларуси производились по Смоленско-Витебской и Витебско-Динабургской железным дорогам в 1875–1877 годах. Нивелирование выполнялось тригонометрическим методом нивелир-теодолитами с вертикальными кругами. На этих линиях была достигнута точность измерения превышений 4,1 мм на 1 км хода.

В 1871–1904 годах астроном Виктор Егорович Фус (1838–1915 годы) осуществил нивелирную связь нуля Кронштадтского футштока с нивелирной маркой на материке, расположенной в здании железнодорожного вокзала в г. Ораниенбауме (ныне г. Ломоносов).

В 1881 году разработана общая программа нивелирования на территории России. Предусматривалось проложение нивелирных линий по меридиональным направлениям для связи Балтийского и Чёрного морей и по направлениям градусных измерений вдоль параллелей 52° и 47°. Нивелирование вдоль Балтийского и Черноморско-Азовского побережий выполнялось для связи футштоков, а также по линиям железных дорог, идущих на запад, для связи с европейской нивелирной сетью. Линии нивелирования проходили и по территории Беларуси в направлении с Вильнюса на Ровно – Одессу. В 1886 году астроном-геодезист Фёдор Фёдорович Витрам (1854–1914 годы) на месте нулевой метки вделал в камень медную пластину с горизонтальной чертой, которая и представляла нуль Кронштадтского футштока.

Первое уравнивание нивелирной сети. В 1894 году под руководством Станислава Даниловича Рыльке (1843–1899 годы) было проведено *первое уравнивание нивелирной сети*. Результаты этой работы были опубликованы в виде Каталога высот русской нивелирной сети с 1871 по 1893 год, известного под названием «*Каталога Рыльке*». Каталог содержал высоты 1 090 марок, закреплённых на линиях нивелирных ходов протяжённостью 13 000 км. За нулевую поверхность был принят общий средний уровень Балтийского и Чёрного морей. Точность нивелирования из уравнивания характеризовалась случайной ошибкой не более 3 мм на 1 км хода. Впервые было установлено, что уровни морей Чёрного и Азовского на 0,85 м, Адриатического – на 0,68 м и Северного – на 0,49 м ниже уровня Балтийского моря.

Значение «Каталога Рыльке» было огромно не только для решения практических задач по географическому изучению и картографированию территории страны, проведению инженерных изысканий при строительстве дорог и мелиорации земель, но и для научных целей. Так, в дальнейшем была разработана теория высокоточного нивелирования, где большое внимание уделялось исследованиям вопросов влияния рефракции и других ошибок на результаты измерений.

В 1898 году в деревянной будке был установлен *мареограф* – автоматический прибор, постоянно регистрирующий уровень воды в колодце относительно нуля футштока. Чуть позже мареограф перенесли в небольшой павильон с глубоким колодцем. Самописец мареографа фиксирует колебания моря, отмечая отливы и наводнения. В настоящее время мареограф полностью автоматизирован и его показания в реальном времени передаются по линиям связи.

В 1913 году заведующий инструментальной камерой Кронштадтского порта Х. Ф. Тонберг установил новую пластину с горизонтальной чертой, которая и служит до настоящего времени исходным пунктом всей нивелирной сети России и стран Содружества независимых государств (СНГ).

В 1913–1917 годы по линии Петербург – Витебск – Могилев – Гомель – Киев – Одесса был проложен нивелирный ход высокой точности с целью определения разности высот уровней Балтийского и Чёрного морей.

Второе уравнивание нивелирной сети. К 1933 году уровнемерные станции Белого, Чёрного, Азовского морей и бухты Золотой Рог

в г. Владивостоке были соединены линиями нивелирования с Кронштадтским футштоком. Было выполнено второе уравнивание высотной сети и в 1934 году опубликован *Каталог высот высокоточного и точного нивелирования в Европейской части СССР с 1875 года по 1932 год*, который включал отметки марок и реперов по 106 линиям общей протяжённостью 69 450 км. В качестве исходного пункта был принят нуль Кронштадтского футштока.

1.3. Понятие о глобальных навигационных спутниковых системах позиционирования

Позиционирование – это определение параметров пространственного положения объектов наблюдения, то есть определение трёхмерных координат объекта, его вектора скорости и направления.

Системой позиционирования, или **глобальной навигационной спутниковой системой (ГНСС)** принято называть систему, в которой группировка искусственных спутников Земли (ИСЗ) играет роль опорных радионавигационных точек. Существуют следующие глобальные системы: **NAVSTAR** или **GPS** (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem, США), **ГЛОНАСС** (**Г**ЛОбальная **Н**Авигационная **С**путниковая **С**истема, Россия), **Бэйдоу** (**Б**ольшая **М**едведица), **КНР**) и **Galileo** (**Е**вропейский союз).

Суть определения параметров состоит в следующем: система спутников, равномерно распределённых по орбитам, непрерывно излучают в сторону Земли специальные навигационные сигналы. Любой человек или транспортное средство, оснащённое специальным прибором для приёма и обработки этих сигналов, могут с высокой точностью в любой точке Земли и околоземного пространства (2–3 тыс. км) определить собственные координаты и скорость движения, а также осуществить привязку к точному времени.

ГНСС существуют уже более 30 лет, при этом сфера их применения за указанный период динамично расширялась. Однако до середины 1990-х годов внедрение подобных технологий в разнообразные сферы человеческой деятельности затруднялось несколькими факторами, основными из которых были ограничения, введённые военными ведомствами (поскольку изначально системы разрабатывались в интересах безопасности), а также высокая стоимость оборудования.

GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия). Однако в середине 1970-х годов в США и СССР началась разработка систем позиционирования второго поколения, отличительной чертой которых явились значительно более высокие показатели точности определения координат и расширенная дифференциация оборудования для измерений при уменьшении его размеров. Наиболее полно возможности использования данных систем стали доступны после приведения их в состояние эксплуатационной готовности (США – 1995 год, Россия – 1996 год), хотя о возможности гражданского использования было официально заявлено значительно раньше (США – 1983 год, Россия – 1995 год). Основные характеристики навигационных систем ГЛОНАСС и GPS приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS.

Характеристики	ГЛОНАСС	GPS
Количество спутников (проектное)	24+3	24+3
Количество орбитальных плоскостей	3	6
Количество спутников в каждой плоскости	8	4
Тип орбиты	круговая	круговая
Высота орбиты, км	19 100	20 200
Наклонение орбиты, градусы	64,8±0,3	55
Период обращения	11 ч 15,7 мин	11 ч 56,9 мин
Центр управления системой	г. Краснознаменск, Московская область, Россия	База ВВС Шривер, Колорадо-Спрингс, штат Колорадо, США
Система отсчёта пространственных геоцентрических координат	ПЗ-90	WGS-84
Способ разделения каналов	частотный	кодовый

Galileo (Европейский союз). В 1999 году Европейский парламент поддержал решение европейского космического агентства ESA о создании спутниковой системы нового поколения Galileo. Эта система имеет открытую архитектуру, что обеспечивает взаимодействие с существующими системами GPS и ГЛОНАСС. Кроме того, в состав бортовой аппаратуры космических аппаратов входит ретранслятор сигналов радиомаяков, которые используются поисково-спасательными службами.

Космический сегмент базируется на орбитальной группировке из 30 спутников и обеспечивает глобальное покрытие территории земного шара. Всемирная сеть станций Galileo контролируется двумя центрами управления Galileo: Фучино (Италия) отвечает за предоставление навигационных услуг, а Оберпфaffenхофен (Германия) – за управление спутниками. Станции слежения и корректировки точности спутникового сигнала расположены в итальянском Фучино, в Куру Французской Гвианы (Франция), в норвежском Шпицбергене, а также в антарктическом Тролле, на островах Реюньон и Кергелен в Индийском океане, в Новой Каледонии Тихого океана.

Таким образом, общее количество спутников с учётом спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС достигнет более 80, что позволяет значительно повысить точность определения координат. Данная сеть Galileo оптимизирована для обслуживания территорий, находящихся в высоких широтах. Наземный

сегмент Galileo включает станции телеметрического контроля и управление спутниками, объединёнными в единую сеть глобального мониторинга. Наклонение орбит у спутников Galileo выше, чем у GPS и ГЛОНАСС, а, следовательно, аппаратура потребителей позволяет фиксировать спутники даже в тех точках орбиты, которые были ранее недоступны для пользователя. Система использует систему координат *Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)*, связанную с Международной земной системой координат ITRF.

Бэйдоу (Китай). Работы по созданию ГНСС Бэйдоу начались после развёртывания систем ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США). Полностью развёрнутая в 2020 году ГНСС Бэйдоу имеет орбитальную группировку из более чем 30 космических аппаратов (КА). Принцип работы Бэйдоу аналогичен принципу работы других глобальных ГНСС.

Структура организации ГНСС. Существующие ГНСС имеют схожую структуру и состоят из трёх главных подсистем (сегментов, секторов):

1. *Наземный сегмент.* Сектор наземного контроля и управления (НКУ, Control Segment) включает в себя центр управления системой, станции слежения;
2. *Космический сегмент.* Сектор созвездия спутников (КА, Space Segment);
3. *Пользовательский сегмент.* Сектор аппаратуры пользователей (АП, User Segment). Сегмент пользователя (потребителя).

Наземный сегмент (сегмент управления) включает в себя Центр управления системой и представлен сетью наземных станций слежения, с помощью которых контролируются параметры орбит всех спутников, а также вычисляются баллистические характеристики, регистрируются отклонения спутников от расчётных траекторий движения, определяется собственное время бортовых часов спутников, осуществляется мониторинг исправности навигационной аппаратуры и др.

Космический сегмент GPS и ГЛОНАСС состоит, как правило, из 24 автономных спутников и 3 резервных, равномерно распределённых по орбитам (ГНСС Galileo – 30 спутников). Орбиты спутников располагаются таким образом, что сигнал хотя бы от некоторых спутников может приниматься повсеместно в любое время.

Сегмент пользователя (потребителя) – это приёмники, выпускаемые и как самостоятельные приборы (переносные или стационарные), и как платы для подключения к персональным или бортовым компьютерам. Обычные гражданские, так называемые GPS-приёмники, обеспечивают точность от 20 до 70 метров. Более сложные и дорогие приборы, использующие несколько радиочастот, позволяют обеспечить точность до сантиметров. Кроме определения трёх текущих координат (долгота, широта, высота над уровнем моря) GPS-приёмники позволяют определять время с точностью не менее 0,1 с. Необходимо отметить, что для определения местоположения требуется одновременно приём сигналов *минимум от 4 спутников*.

Во всех сегментах и элементах систем позиционирования используется оборудование, построенное на самых современных технологиях. Основные идеи, положенные в основу ГНСС это:

- местоопределение по расстояниям до спутников;

- измерение расстояний до спутников;
- обеспечение точной привязки по времени;
- определение положения спутника в пространстве;
- компенсация погрешностей.

Применение ГНСС. На современном этапе сфера применения глобальных навигационных спутниковых систем очень широка и продолжает динамично развиваться. Основными областями применения являются:

- геодезические опорные сети всех уровней;
- распространение единой высокоточной шкалы времени;
- исследования геофизических процессов (сейсмической активности, вулканизма, движений полюсов);
- геодезическое обеспечение строительства;
- кадастровые и землеустроительные работы;
- экологические исследования;
- ГИС-технологии и др.

С применением ГНСС проводятся фундаментальные и научно-экспериментальные исследования.

Преимущества данных систем по сравнению с другими источниками: глобальность, оперативность, всепогодность, оптимальная точность и эффективность. Значительной позитивной чертой является отсутствие необходимости прямой видимости между определяемыми пунктами.

1.4. Общеземные геоцентрические системы координат

Основным назначением спутниковых систем является определение местоположения точки на поверхности Земли с требуемой точностью. Как известно, местоположение точки описывается тремя пространственными координатами в определённой системе отсчёта. При этом система отсчёта является основой для обеспечения высокой точности и единства измерений. Спутниковые системы позиционирования используют **геоцентрические системы координат** – это такие системы координат, в которых начало отсчёта совпадает с центром масс Земли.

В *земных геоцентрических системах координат* началом является центр масс Земли, а направление осей связывается с положением полюса Земли, её экватора и меридиана Гринвича. Эти системы вращаются вместе с Землёй при её суточном движении в пространстве. В такой системе положения точек, закреплённых на твёрдой поверхности Земли, имеют координаты, которые подвергаются только малым изменениям со временем из-за геофизических эффектов (тектонические или приливные деформации), которые можно достаточно точно учитывать, используя соответствующие модели явлений.

Существуют *общеземные* и *референцные* системы координат. Общеземные геодезические системы включают:

- параметры земного эллипсоида;
- параметры гравитационного поля;

- гринвичскую геоцентрическую прямоугольную систему координат, закрепляемую координатами пунктов космической геодезической сети (КГС).

В ГНСС GPS используется *система координат WGS-84 (World Geodetic System 1984)*, а для функционирования ГЛОНАСС – *ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 года)* (рисунок 4). Основной пространственной привязкой Бэйдоу является система координат *BeiDou (BDCS)*. ГНСС Galileo использует систему координат *Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)*, связанную с международной земной системой координат ITRF. Эти системы относятся к общеземным геоцентрическим системам отсчёта.

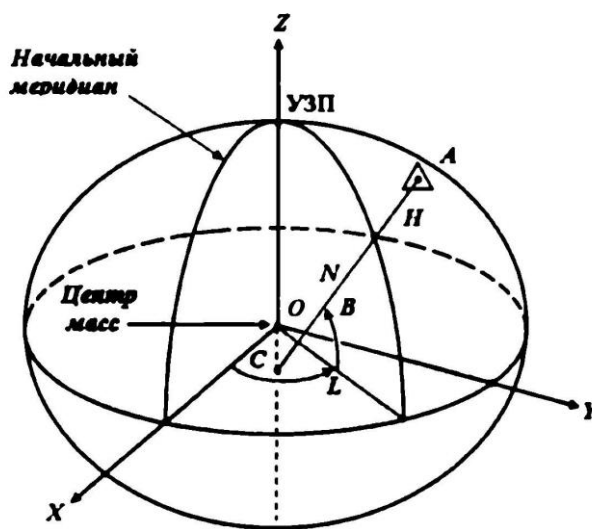


Рисунок 4 – Основные координатные оси геоцентрической системы координат

Ось Z совпадает с осью вращения Земли и направления на север.

Ось X направлена в точку пересечения плоскости экватора с плоскостью исходного (нулевого) меридиана, определённого Международным бюро времени.

Ось Y расположена в плоскости экватора под углом 90° к востоку от оси X и завершает правостороннюю ортогональную систему координат.

Одним из отличий спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС является то, что они используют различные геоцентрические системы координат, выражающиеся в особенностях построения и обработки геодезических сетей.

Основной является *геоцентрическая координатная система ITRS*, поддерживаемая Международной службой вращения Земли IERS. Ежегодно, с 1989 года новейшими методами космической геодезии и позиционированием формируется сеть пунктов ITRF, которая с высокой точностью закрепляет начало координат в центре масс Земли и ориентирует координатные оси относительно экватора и плоскости меридиана Гринвича.

Таким образом, в геоцентрических системах отсчёта, начало координат фиксируется в центре масс Земли.

Центр масс Земли. Центр масс Земли, или геоцентр, выбирается в качестве начала во многих системах координат, поскольку является очень устойчивой точкой в теле Земли. Эта точка реализуется по наблюдению спутников, движущихся в гравитационном поле Земли.

В 1997 году *Международная служба вращения Земли (МСВЗ)* провела кампанию по исследованию стабильности геоцентра, в которой приняли 42 исследователя из 25 научных групп, использовавших современные геофизические модели и результаты обработки лазерных измерений, GPS и DORIS. В конце 1997 года в Сан-Франциско состоялась встреча по обмену результатами работы.

Вековые смещения в положении геоцентра можно объяснить такими причинами как:

- изменение уровня моря,
- изменения в ледяном щите (Гренландия, Антарктида),
- тектонические смещения в земной коре (последникова отдача, движение тектонических плит, субдукции и др.).

Установление положения оси вращения Земли, её полюса и экватора, а также начального меридиана для счёта долгот и времени связано с проблемой движения полюса.

Для детального изучения явления движения полюса в 1899 году Международная ассоциация геодезии организовала *Международную службу широты (МСШ)*. В первые годы деятельности МСШ движение полюса определялось по непрерывным рядам наблюдений широты на станциях Мицузава (Япония), Китаб (Узбекистан), Карлофорте (Италия), Юкайя и Гейтерсберг (США), расположенных на «международной» параллели 39°08'с. ш. Усреднённое положение истинного полюса за период с 1900 по 1905 год в 1960 году было принято за среднее положение земного полюса и названо *Международным условным началом (МУН)*. Реальное положение МУН задавалось назначением широт станций МСШ.

В 1961 году МСШ была реорганизована в *Международную службу движения полюса (МСДП)*, а в 1988 году – в *Международную службу вращения Земли (МСВЗ, IERS)*, которая в 2003 году была переименована в *Международную службу вращения Земли и референцных систем (МСВЗ)*. МСВЗ продолжает работу, начатую МСШ и МСДП в духе времени, расширив сеть станций, участвующих в наблюдениях, почти до 50 и привлекая новые способы наблюдений.

WGS-84 определяет координаты относительно центра масс Земли. В WGS-84 нулевым меридианом считается Опорный меридиан, проходящий в 5,31" (~100 м) к востоку от Гринвичского меридиана. За основу взят эллипсоид с большим радиусом – 6 378 137,000 м (экваториальный) и меньшим – 6 356 752,314 м (полярный). Практическая реализация идентична отсчётной основе ITRF.

Используемые в WGS-84 стандарты и компоненты регулярно обновляются. Изначально заложенные данные 1984 года были обновлены в 1997, 2004 и 2014 годах. Каждое обновление призвано повысить точность и содержит самые актуальные описания Земли.

В ГНСС ГЛОНАСС используется общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90). Она подобна (построена на тех же принципах), что и WGS-84: начало координат – центр масс Земли и та же ориентация осей X , Y , Z . В 2000 году ПЗ-90 получает статус государственной системы координат с полным наименованием «Параметры Земли». Постановлением Правительства РФ от 28.07.2000 года с 01.07.2002 года для обеспечения орбитальных полётов и решения навигационных задач введена геоцентрическая система координат ПЗ-90, а для геодезических и картографических работ устанавливается единая система координат СК-95. СК-95 реализована совместной обработкой 164 тыс. пунктов астрономо-геодезической сети и 26 пунктов космической геодезической сети. Она построена на эллипсоиде Красовского, оси которого в отличие от СК-42, ориентированы параллельно соответствующим координатным осям ПЗ-90.

Система координат ПЗ-90 закреплена координатами 30 опорных пунктов космической геодезической сети (КГС), причём 7 пунктов установлены в Антарктиде. Погрешность взаимного положения пунктов при расстояниях между ними до 10 000 км составляет 20–30 см. Система ПЗ-90 включает в себя фундаментальные астрономические и геодезические постоянные, единую геоцентрическую систему координат (ЕСК), модели гравитационного поля Земли, параметры связи ЕСК с национальной референцной СК-42. В её составе находятся прямоугольная (X , Y , Z) и геодезическая (B , L , H) системы координат. Положение прямоугольных осей координат располагается относительно условного центра масс Земли гравитационной модели с нулевыми значениями координат в ней, совмещёнными с центром эллипсоида ПЗ-90.

Система геодезических координат (B , L , H) однозначно ориентирует её относительно правильной поверхности эллипсоида ПЗ-90. При этом полюса в ней представлены особыми двумя точками, в которых геодезическая долгота (L) имеет нулевое значение и в них сходятся все меридианы.

Первая модернизация ПЗ-90 была произведена в 2002 году и получила наименование ПЗ-90.02. В июне 2007 года решением Правительства Российской Федерации была введена в правовое поле ГСК ПЗ-90.02, с помощью которой были улучшены технические характеристики спутниковой навигационной аппаратуры ГЛОНАСС и соответственно повышена точность геодезического обеспечения всех решаемых задач по навигации, баллистике и полётам КА.

Вторая модернизация ПЗ-90 была выполнена в 2011 году и получила наименование ПЗ-90.11. Система координат ПЗ-90.11 была установлена постановлением Правительства Российской Федерации от 24 ноября 2016 года № 1 240 для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полётов, решения навигационных задач и выполнения геодезических и картографических работ в интересах обороны Российской Федерации.

Основной целью её создания являлось высокоточное обеспечение навигации, орбитальных полётов, и, кроме этого, решения практических вопросов по основным геодезическим, картографическим и прикладным работам.

Со временем геоцентрические координаты пунктов ITRF изменяются вследствие непрерывного совершенствования сети и геодинамических процессов. Поэтому каталоги координат пунктов ITRF постоянно обновляют. В 1994 году сеть ITRF содержала 150 пунктов, расположенных на всех материках и на островах во всех океанах.

Таким образом, необходимо отметить, что системы отсчёта WGS-84 и ПЗ-90 схожи по своей сути и единственными отличиями являются лишь их физические и геометрические характеристики.

1.5. Развитие геодезических сетей спутниковыми методами

Дальнейшее использование СК-42 не позволяло обеспечивать возрастающие требования к решению задач геодезического обеспечения страны. Применяемая в Республике Беларусь СК-42 явилась сдерживающим фактором в использовании выполненных высококачественных спутниковых измерений.

Современные требования в повышении точности Государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения Республики Беларусь должны быть связаны с применением спутниковых методов определения местоположения.

1.5.1. Референцная система координат 1995 года (СК-95)

Повышение точности взаимного положения пунктов ГГС на больших расстояниях возможно при уравнивании астрономо-геодезической сети (АГС) совместно с имеющимися высокоточными спутниковыми измерениями. Результаты такого уравнивания, выполненного в 1995 году Роскартографией, были положены в основу *системы геодезических координат 1995 года (СК-95)*.

По теоретическому определению начало СК-42 близко к центру масс Земли. Ось Z_{42} параллельна оси Z общеземной системы, ось X_{42} определяется положением нуль-пункта принятой системы счета долгот, ось Y_{42} дополняет систему до правой.

Центр референц-эллипсоида СК-42 совпадает с началом прямоугольной системы координат (X_{42} , Y_{42} , Z_{42}), ось вращения совпадает с осью Z_{42} , плоскость начального меридиана совпадает с плоскостью $(XOZ)_{42}$.

В 1991 году построенная на территорию страны астрономо-геодезическая сеть (АГС) из 164 000 пунктов была уравнена как единое целое. Проведённое уравнивание АГС показало необходимость в новой системе с однородной точностью координат по всей стране. Для повышения точности было решено использовать результаты высокоточных спутниковых измерений на 26 пунктах Космической геодезической сети (КГС), построенной военными

геодезистами, и 134 пунктах *Доплеровской геодезической сети (ДГС)*, созданной Роскартографией. В качестве дополнительных измерений в общее решение вошли геоцентрические расстояния геодезических пунктов, с использованием гравиметрических высот *квазигеоида*. Результаты проведённого в 1995 году совместного уравнивания стали основой системы геодезических координат СК-95.

Оси системы СК-95 параллельны осям общеземной системы ПЗ-90, то есть связь между этими системами устанавливается только тремя параметрами переноса. За отсчётную поверхность в СК-95 принят **референц-эллипсоид Красовского** с параметрами: большая полуось – 6 378 245 м, сжатие – 1:298,3. Главные оси отсчётного эллипсоида параллельны пространственным осям системы координат ПЗ-90. Другое условие реализации системы заключалось в неизменности геодезических координат пункта Пулково, то есть координаты начала геодезической сети в системах СК-42 и СК-95 были приняты одинаковыми и сохранены параметры эллипсоида Красовского, а лишь несколько изменены параметры ориентирования эллипсоида в теле Земли. Это позволило минимизировать расхождения координат точек в СК-42 и СК-95 таким образом, что оказалось возможным полностью сохранить изданные ранее топографические карты масштаба 1:10 000 на территорию Европейской части России, Средней Азии и юга Сибири.

Точность привязки СК-95 к центру масс Земли характеризуется средней квадратической ошибкой (СКО) порядка 1м. Координаты пунктов ГГС в системе СК-95 имеют одинаковую точность для всей сети. Ошибка взаимного положения для смежных пунктов составляет 3–5 см, для пунктов, удалённых на 200–300 км – 20–30 см, для 500 и более км ошибка возрастает до 50–80 см. За отсчётную поверхность принят референц-эллипсоид Красовского.

На территории России система координат 1995 года принята Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 года взамен СК-42. В Республике Беларусь, в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь, СК-95 введена с 1 января 2010 года, после завершения работ по модернизации государственной геодезической сети страны.

Сеть, полученная из совместного уравнивания всех измерений, и получившая название СК-95, качественно превосходит систему координат 1942 года по уровню точности и обеспечивает возможность перехода к общеземной геоцентрической системе координат на определённом уровне точности для всей ГГС в целом.

1.5.2. Преимущества применения спутниковых методов для развития геодезических сетей

Преимущества и реализация возможностей применения спутниковых методов геодезического обеспечения:

- возможность передачи координат практически на любые расстояния и с оперативностью на порядок высшей по сравнению с наземными измерениями;

- отсутствие требований к взаимной видимости между пунктами, что позволило без сооружения дорогостоящих геодезических знаков располагать пункты в местах, более благоприятных для их сохранности и последующего использования;

- понижение требований к плотности исходной геодезической основы, что позволяет сократить количество пунктов опорных геодезических сетей и более благоприятно их расположить – это приводит к сокращению затрат на постоянные работы по обследованию и восстановлению пунктов;

- значительное уменьшение временных затрат по сравнению с традиционными измерениями;

- большой уровень автоматизации на всех стадиях проведения работ, отсутствие технической зависимости от времени суток, года, погодных условий.

Основные концептуальные положения построения Государственной геодезической сети Республики Беларусь:

- обеспечение пользователей геодезической информации возможностями придания объектам пространственных свойств;

- значительное повышение точности метрической информации объектов;

- однородность координатной среды.

1.6. Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь

Современная *Государственная геодезическая сеть (ГГС) Республики Беларусь* представляет собой совокупность геодезических пунктов, расположенных равномерно по всей территории Республики Беларусь, закреплённых на местности специальными центрами, обеспечивающими их сохранность и устойчивость в плане и по высоте в течение длительного времени, положение которых определено в государственной системе отсчёта координат и высот. ГГС создаётся в соответствии с СТБ 1653-2006 «Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь. Основные положения».

ГГС предназначена для:

- установления и распространения единых установленных систем координат, высот и гравиметрических данных на территории Республики Беларусь;

- геодезического обеспечения картографирования территории Республики Беларусь;

- геодезического обеспечения изучения земельных ресурсов и землепользования, создания кадастров, строительства, разведки и освоения природных ресурсов Республики Беларусь;

- обеспечения исходными геодезическими данными средств наземной и аэрокосмической навигации, аэрокосмического мониторинга природной и техногенной сред Республики Беларусь;

- изучения поверхности и гравитационного поля Земли и их изменений во времени;

- изучения геодинамических явлений.

ГГС является носителем геодезической системы координат и высот Республики Беларусь.

Геодезические сети на территории Республики Беларусь реализуются: созданием трёх различающихся по своей геометрической и физической сущности видов сетей: *плановой, высотной и гравиметрической*. Указанные сети обеспечивают распространение с необходимой точностью единых системы координат, высот и гравиметрических данных. Связи трёх видов сетей осуществляются путём включения пунктов одних видов сетей в другие.

Территориальный признак сетей заключается в их делении на: *глобальные, национальные (государственные), специального назначения и съёмочные*. Все три типа сетей связаны между собой геодезическими измерениями.

1.6.1. Плановая ГГС

Структура современной *плановой ГГС Республики Беларусь* включает:

- *пункт фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС)*;
- *высокоточную геодезическую сеть (ВГС)*;
- *спутниковую геодезическую сеть 1 класса (СГС-1)*;
- *геодезическую сеть сгущения (ГСС)*.

В основу создания ГГС Республики Беларусь положен принцип сохранения единства геодезических сетей Беларуси и России. На первом этапе развития и модернизации ГГС в течение 2000 года создан *пункт ФАГС «Минск»* (рисунок 5).

Высокоточная геодезическая сеть (ВГС) представляет собой пространственное геодезическое построение, опирающееся на пункт ФАГС и геодезические пункты других государств. ВГС представлена 9 *пунктами* «Поставы», «Полоцк», «Витебск», «Могилев», «Гомель», «Калинковичи», «Микашевичи», «Кобрин» и «Скидель» (рисунок 5). Расстояние между пунктами ВГС составляет 150–300 км. Пункты ВГС имеют основной центр, рабочий центр и контрольный центр. Расстояние между основным, рабочим и контрольным центрами пункта ВГС не превышает 20 км. В качестве рабочего и контрольного центров пункта ВГС используются сохранившиеся, ранее закреплённые вековые, фундаментальные и грунтовые нивелирные реперы. Основной, рабочие и контрольные центры пункта ВГС объединены в локальную геодезическую сеть.

СГС-1 представляет собой пространственное геодезическое построение, опирающееся на пункты ФАГС и ВГС (рисунок 5). Расстояние между пунктами СГС-1 составляет 15–25 км, а на территориях городов, больших промышленных объектов – 8–12 км. Пункт СГС-1 имеет основной центр и два пункта-спутника. В СГС-1 вошли сохранившиеся центры пунктов *астрономо-геодезической сети (АГС)* 1–2 классов, которые были определены спутниковым методом.

Геодезическая сеть сгущения (ГСС) включает сохранившиеся центры пунктов АГС 1–4 классов, построенных в соответствии с требованиями Основных положений о государственной геодезической сети СССР 1954–1961 годов, и новые сети сгущения, построенные в соответствии

с требованиями стандарта. Новые пункты ГСС определяются относительными методами космической геодезии, а также традиционными геодезическими методами: триангуляции, полигонометрии, трилатерации и с применением астрономических измерений. Средняя квадратическая погрешность определения положения пунктов ГСС относительно ближайших пунктов ФАГС, ВГС, СГС-1 не превышает ± 10 см. Длины сторон ГСС расположены в пределах 2–8 км (рисунок 5).

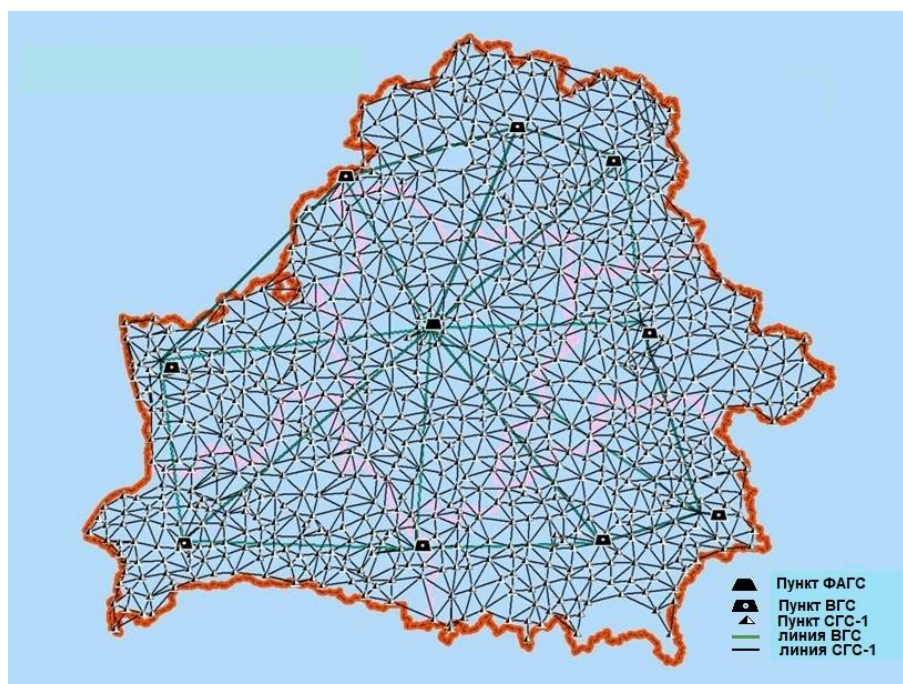


Рисунок 5 – Структура современной ГСС Республики Беларусь

Основные характеристики современной Государственной геодезической сети Республики Беларусь представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные характеристики Государственной геодезической сети (ГГС) Республики Беларусь.

Класс	Расстояние между пунктами, км	Средняя квадратическая погрешность взаимного положения пунктов
ФАГС	700–2 000	не более 1–2 см по плановому положению и 2–3 см по высоте
ВГС	150–300	соответственно 2 см и 2 см
СГС-1	15–25	соответственно 1–2 см и 1–2 см

Спутниковая система точного позиционирования (ССТП) – составная часть государственной геодезической сети (рисунок 6). Она предназначена для точного позиционирования (определения координат) с помощью спутниковых приёмников по наблюдениям навигационных спутников.

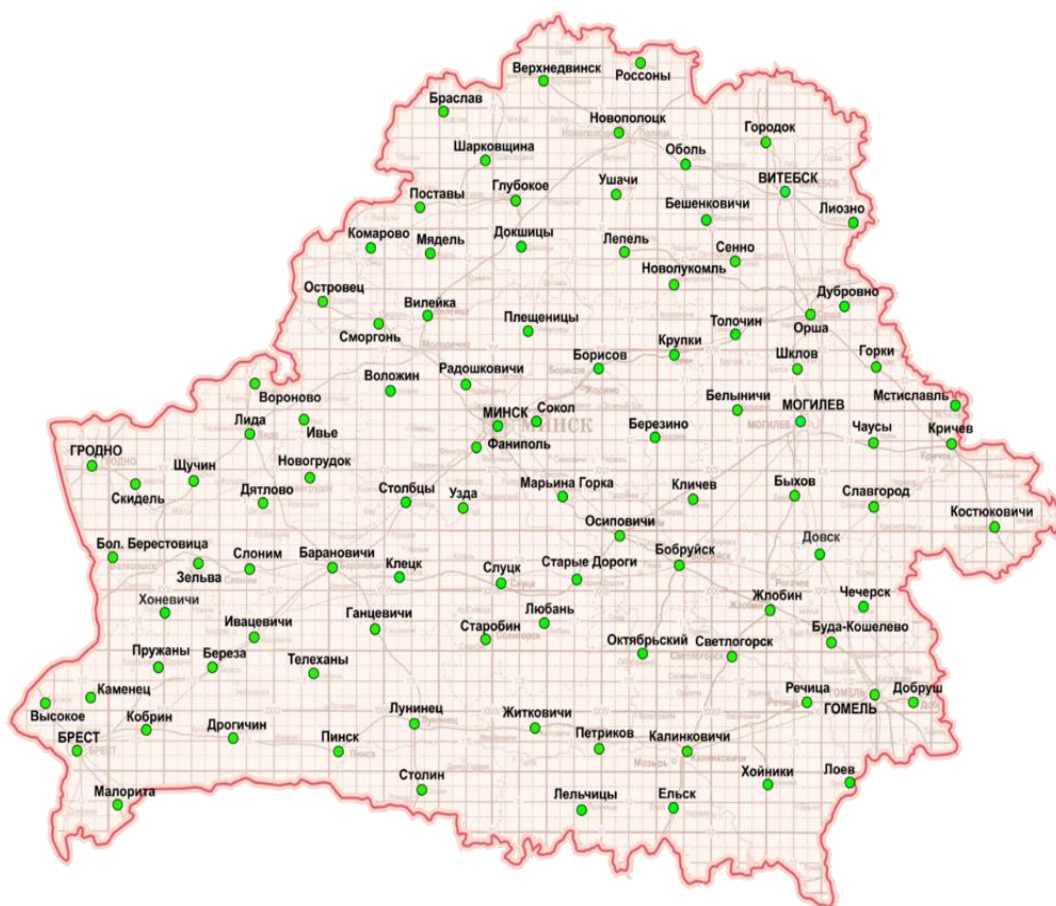


Рисунок 6 – Схема размещения постоянно действующих пунктов (ППП) ССТП Республики Беларусь

ССТП включает *98 постоянно действующих пунктов (ППП)*, равномерно расположенных на территории Беларуси. ППП принимают сигналы спутников ГНСС и передают их в качестве измерительной информации в *вычислительный центр (ВЦ)*, который формирует корректирующую информацию и по каналам связи транслирует её пользователям на обслуживаемой территории. Пользователи с применением полевых приёмников высокой точности (геодезического класса), объединяя спутниковую и корректирующую информацию, получают координаты объектов с сантиметровой точностью. ССТП реализует режимы реального времени и постобработки. Режим реального времени позволяет определять в пределах минуты после установки спутникового приёмника на определяемой точке координаты объекта со средней квадратической погрешностью 2 см в плане и 3 см по высоте.

Точная информация необходима при проведении геодезических и земельно-кадастровых работ, изысканий, строительстве дорог, линейных сооружений и других объектов, для проведения аэрофотосъёмки, навигации и диспетчеризации транспортных средств. Система позволяет определить координаты объектов, например, подземных коммуникаций или границ земельных участков, с точностью до 1–5 см. Её применение позволяет избежать

многих ошибок в проектировании и строительстве объектов, так как измерения производятся в единой системе координат Республики Беларусь.

1.6.2. Высотная ГГС

Понятие о высотах земной поверхности. Высота точек земной поверхности относительно исходной отсчётной поверхности является одной из координат, характеризующей рельеф местности. Высота отсчитывается от исходной уровенной поверхности по нормали к ней. Направление нормали к уровенной поверхности совпадает с направлением силы тяжести, то есть с отвесной линией.

Высота точки местности может измеряться от разных уровенных поверхностей (рисунок 7).

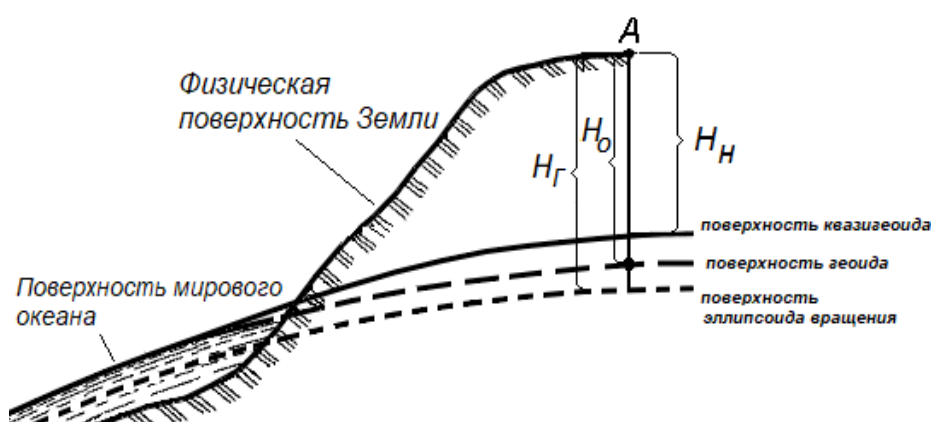


Рисунок 7 – Уровенные поверхности в геодезии

Высоты, отсчитываемые от поверхности *геоида*, называются **ортометрическими высотами (H_o)**.

Под руководством Михаила Сергеевича Молоденского (1909–1991 годы) проводились работы по определению высот геоида по данным астрономо-гравиметрического нивелирования. Квазигеоид на морях и океанах совпадает с поверхностью геоида, а под материками незначительно (до 1–2 м) отступает от него. С 1951 года высоты, отсчитываемые от поверхности *квазигеоида*, по предложению М. С. Молоденского, получили название **нормальных высот (H_n)**. Нормальные высоты определяются геометрическим нивелированием.

Относительно поверхности *эллипсоида вращения* определяется **геодезическая (эллипсоидальная) высота**.

Высоты геоида над поверхностью эллипсоида называют **аномалией высоты**.

Нормальные высоты определяются в России, Беларуси, странах СНГ и некоторых европейских странах (Швеции, Германии, Франции и др.).

Ортометрические высоты используются в США, Канаде, Австралии, Бельгии, Дании, Финляндии, Ирландии, Италии, Нидерландах, Португалии, Испании, Швейцарии, Турции, Японии и некоторых других странах.

Абсолютные высоты отсчитываются от уровня моря или геоида (квазигеоида), а **относительные высоты (превышения)** определяются от какой-либо условной уровенной поверхности.

12 августа 1946 года Главным управлением геодезии и картографии принято решение по выполнению Постановления Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 года «О введении единой системы геодезических координат и высот на территории СССР». Утверждены «Основные положения по общему уравниванию основной нивелирной сети СССР». На всей территории СССР вычисление высот нивелирных сетей I и II классов следовало производить от нуля Кронштадтского футштока в ортометрической системе, называемой Балтийской.

В 1968 году было закончено создание сети нивелирования I класса на Европейской части СССР.

В 1977 году издан *Каталог высот опорной нивелирной сети I и II класса*, составивший единую систему высот, получившей название **«Балтийская система высот 1977 года»**. От нуля Кронштадтского футштока производятся измерения глубин и абсолютных высот на всей территории России и стран СНГ.

По состоянию на конец 1980-х годов протяжённость линий нивелирования высотной ГГС на территории Республики Беларусь составляла около 15 000 км, в том числе I, II классов – 4 500 км. Общее число нивелирных знаков, закрепляющих на местности высотные ГГС превышало 40 000.

Современная нивелирная сеть России и СНГ подразделяется на *сети I, II, III и IV классов*. Главной высотной основой являются сети I и II классов.

Нивелирная сеть создана в виде замкнутых полигонов и отдельных линий. Нивелирная сеть II класса опирается на реперы I класса и создаётся в виде полигонов с периметром от 400 до 800 км в обжитых районах и 1000–2000 км – в необжитых районах. Сети III и IV классов прокладываются внутри полигонов высшего класса, причём для III класса предельное значение периметра полигона не более 150 км, а длины линий IV класса – не более 50 км. Нивелирные сети всех классов закрепляются на местности **реперами** (вековыми, фундаментальными, грунтовыми, стенными) или **стенными марками** не реже, чем через 5 км. На рисунке 8 представлены фотоизображения стенных репера (слева) и марки (справа).

Стенные знаки нивелирования закрепляются в фундаментах и стенах капитальных сооружений.

Невязки в нивелировании I, II, III и IV классов не должны превышать в миллиметрах соответственно 3, 5, 10, $20 \cdot \sqrt{L}$, где L – длина хода в км.

Применяемая в настоящее время государственная система отсчёта высот – **Балтийская система высот 1977 года (БСВ-77)** получена из уравнивания Главной высотной основы СССР, созданной методом геометрического нивелирования I и II классов, как свободной сети, от одного исходного пункта – марки «Ломоносов», расположенной в здании железнодорожного вокзала

в г. Ораниенбауме (ныне г. Ломоносов), высота которой принята равной 5,6480 м $\pm 0,0076$ м. За начало отсчёта высот принята имеющая нулевую отметку высоты горизонтальная черта на пластине Тонберга, установленной в устье Синего моста на Обводном канале в Кронштадте. Средняя квадратическая погрешность километрового хода по результатам уравнивания главной высотной основы для I класса – $\pm 1,6$ мм; для II класса – $\pm 2,7$ мм. Средняя квадратическая погрешность высоты относительно исходного пункта для узла «Брест» – $\pm 43,7$ мм.



Рисунок 8 – Обозначение на местности пунктов нивелирной сети: стенной репер (слева), стенная марка (справа)

Национальные системы отсчёта высот, принятые в Европе, Азии и Америке. Необходимость замера уровня моря существовала очень давно. В качестве исходной уровенной поверхности во многих странах, в основном, принимали уровень моря относительно суши за длительный период наблюдений.

Система высот, используемая в Северной Америке – **North American Datum** – применяется на территории США, Канады и Мексики. За свою историю уточнялась четыре раза. Последнее уточнение было завершено к 1991 году. Последняя версия этой системы получила название «**North American Vertical Datum of 1988 (NAVD 88)**». Различия в отметках между WGS-84 и NAVD 88 на большей части США составляют порядка одного метра. В отличие от отметок в системе WGS-84, отметки NAVD 88 считаются постоянными, в то время как отметки в системе WGS-84 могут меняться со скоростью 1–2 см в год.

Система высот, используемая в Великобритании – **Ordnance Datum Newlyn**. За начало отсчёта принят средний уровень воды в гавани Ньюлин с 1915 по 1921 год.

Система высот, используемая в Германии с 1992 года – **Normalhöhennull**. Отсчёт высот ведётся от отметки на церкви святого Александра в Валленхорсте.

Система высот **European Terrestrial Reference System 1989** используется в Италии и ряде соседних с ней европейских стран. Отсчёт ведётся по уровню высот Евразийской литосферной плиты.

Система высот, принятая с 1879 года в Нидерландах – **Amsterdam Ordnance Datum**. Нулевой уровень высот – отметка в центре Амстердама на высоте 9 футов 5 дюймов над уровнем моря. Эта система высот послужила основой

для Normalnull и используется до сих пор. По Амстердамскому футштоку вычисляются высоты и глубины Западной Европы.

Система высот, принятая в Турции – *Türkiye ulusal düzey kontrol ağı (TUDKA-99)*. За начало отсчёта принят средний уровень Средиземного моря за период с 1936 по 1971 год, измеренный в районе Анталии.

На территории Франции используются две основные системы высот: для континентальной Франции – *NGF-IGN69* с началом отсчёта в порту Марселя, для Корсики – *NGF-IGN78*, с началом отсчёта в порту Аяччо. Кроме этого, применяются одиннадцать систем для заморских территорий. По Марсельскому футштоку ведут замер уровня Средиземного моря.

1.6.3. Государственная гравиметрическая сеть (ГГрС)

Гравиметрия (от лат. «gravis» – тяжёлый и греч. «μετρέω» – измеряю), также *геодезическая гравиметрия*, *гравитационное зондирование* – наука об измерении величин, характеризующих гравитационное поле Земли и других небесных тел. Гравиметрию можно рассматривать как теоретический фундамент геодезии. Основное содержание гравиметрии в геодезии – теории и методы определения внешнего поля потенциала и силы тяжести Земли (g) по измерениям на земной поверхности и по астрономо-геодезическим данным. Задачей гравиметрии является определение гравитационного поля Земли и других небесных тел как функции местоположения и времени по измерениям силы тяжести и гравитационных градиентов на поверхности тела или вблизи него.

Гравиметрия рассматривает теории и методы измерения силы тяжести для решения задач геодезии, геофизики и других наук о Земле. Гравиметрия в геодезическом контексте включает теорию нивелирных высот и обработку астрономо-геодезических сетей. Одно из основных геодезических приложений гравиметрии – *построение моделей геоида*. Точное знание геоида необходимо, в частности, в навигации – для пересчёта геодезических (эллипсоидальных) высот, непосредственно измеряемых GPS-приёмниками, в высоты над уровнем моря. Единицей измерения в гравиметрии является гал (русское обозначение – Гал; международное – Gal), равный 1 см/с^2 . Названа в честь итальянского учёного Галилео Галилея.

Государственная гравиметрическая сеть (ГГрС) создаётся и используется в целях распространения государственной гравиметрической системы на территорию государства. ГГрС представляет собой совокупность закреплённых на местности и гравиметрически связанных между собой пунктов, на которых выполняют относительные или абсолютные измерения ускорения силы тяжести и осуществляют определение высот и координат этих пунктов.

ГГрС предназначена для:

- обеспечения связи с *Международной гравиметрической стандартизационной сетью 1971 года (МГСС-71)* и гравиметрическими системами других государств;

- распространения установленной государственной гравиметрической системы на всю территорию Республики Беларусь;
- изучения гравитационного поля Земли и его изменений во времени;
- решения задач геодезии, геофизики и геодинамики;
- метрологического обеспечения гравиметрической аппаратуры и сетей низших классов;
- решения иных научных и народнохозяйственных задач;
- обеспечения гравиметрических съёмок.

Гравиметрические определения осуществляются с помощью аттестованных *гравиметров*. Абсолютные измерения выполняют с помощью баллистических гравиметров, а относительные определения – с помощью баллистических, статических и маятниковых. Координаты и высоты пунктов ГГрС принято определять в установленных в Республике Беларусь системах координат и высот.

ГГрС состоит из взаимосвязанных гравиметрических сетей различных классов точности, создаваемых по принципу перехода от общего к частному. ГГрС включает:

- *государственную фундаментальную гравиметрическую сеть (ФГрС);*
- *гравиметрическую сеть 1-го класса, состоящую из сети основных пунктов (ОГрС-1) и сети рядовых пунктов (ГрС-1).*

ГГрС дополняет *гравиметрическую сеть 2-го класса (ГрС-2).*

Плотность пунктов ГГрС должна составлять не менее одного пункта на 100 км² земной поверхности, относящейся к территории Республики Беларусь.

ФГрС включает 4 пункта. Один из пунктов ФГрС, являющийся *Главным гравиметрическим пунктом (ГГП) Республики Беларусь* расположен в г. Минске. Пункт ФГрС состоит из основного центра, двух пунктов-спутников, контрольных реперов, закладываемых по одному вблизи от основного центра и центров пунктов-спутников. Пункты ФГрС размещают в капитальных зданиях. Нормальные высоты пунктов ФГрС определяют из нивелирования I класса точности и, как исключение, II класса. Периодичность определения – 5–8 лет. Пункты ФГрС совмещаются с пунктами ФАГС или ВГС или располагают на расстоянии 10–15 км от них.

Построение сети ОГрС-1 осуществляется исходя из следующих основных принципов:

- пункты ОГрС-1 располагают по возможности равномерно, на расстоянии 150–200 км один от другого, совмещая их с пунктами ВГС или СГС-1;
- пункты ОГрС-1 размещают в капитальных зданиях;
- пункты ОГрС-1 связывают измерениями с пунктами ФГрС.

Пункты ГрС-1 располагаются равномерно, на расстоянии 50–60 км один от другого, совмещая их с сохранившимися пунктами ранее построенных опорных гравиметрических и нивелирных сетей и размещают в капитальных зданиях. На пунктах ГрС-1 выполняется определение нормальных высот классом точности нивелирования IV класса.

Пункты ГрС-2 должны располагаться на расстоянии 5–30 км один от другого и обеспечивать возможность выполнения гравиметрических съёмок.

Их совмещают с пунктами государственной геодезической и нивелирной сетей. На пунктах ГрС-2 выполняется определение нормальных высот классом точности технического нивелирования.

Центр и наружное оформление гравиметрического пункта представлены на рисунке 9.



Рисунок 9 – Обозначение на местности пунктов ГГрС: центр (слева) и наружное оформление гравиметрического пункта (справа)

Конструкция и местоположение центров гравиметрических пунктов должны обеспечивать их сохранность в неизменном положении в течение не менее 50 лет.

1.7. Разграфка и номенклатура топографических карт

Номенклатура топографических карт представляет собой буквенное и цифровое обозначение отдельных листов карт по определённой системе. Система деления земной поверхности на отдельные листы топографических карт называется **разграфкой**.

В 1891 году на V Международном географическом конгрессе принято решение о составлении и издании карты мира в масштабе **1:1 000 000**. Позднее было установлено, что каждый лист карты должен охватывать территорию в 4° по широте и 6° по долготе.

По указанию Всероссийского главного штаба Революционного военного совета Республики Корпус военных топографов разработал в конце 1918 года проект перехода от карт верстовых масштабов к картам метрических масштабов. Согласно приказу по КВТ № 48 от 4 апреля 1919 года проект предусматривал следующее:

- сторонами рамок планов и карт должны быть *меридианы* и *параллели*;
- начальным меридианом при счёте долгот принять *международный Гринвичский меридиан*;
- для листа карты масштаба **1:1 000 000** принять установленные Международным географическим конгрессом размеры по долготе 6° и по широте 4° ;

- размеры листов карты масштаба 1:100 000 установить по долготе 30' и по широте 20';

- в листе карты масштаба 1:100 000 должно быть четыре листа карты масштаба 1:50 000 и 16 листов карты масштаба 1:25 000;

- разбивку рамок планшетов в масштабах 1:25 000 и 1:50 000 производить с таким расчётом, чтобы в одном планшете масштаба 1:50 000 заключалось целое число (четыре) планшетов масштаба 1:25 000.

- установить строго определённое, ограниченное число основных и обязательных масштабов: для съёмок – 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000, для составления карт – 1:100 000, 1:300 000 и 1:1 000 000.

- полувёрстный масштаб съёмки (1:21 000) заменить масштабом 1:25 000, горизонтали проводить через 5 метров, полугоризонтали – через 2,5 м.

- одновёрстный масштаб съёмки (1:42 000) заменить масштабом 1:50 000, горизонтали проводить через 10 метров, полугоризонтали – через 5 м.

В дальнейшем, проект был принят за основу и в настоящее время применяется данная разграфка карт.

На листах карт южного полушария к номенклатуре листа добавляется подпись в скобках «Ю. П.», например, «А-32-Б (Ю. П. или S)».

Листы карт, расположенные между широтами 60–76°, сдваиваются по долготе; например, лист карты масштаба 1:1 000 000 по долготе будет иметь протяжённость не 6°, а 12°. Сдвоенные листы миллионной карты обозначаются указанием ряда (буквой) и двух соответствующих колонн (нечётным и последующим чётным числом); например, лист карты масштаба 1:1 000 000 на район г. Мурманска имеет номенклатуру R-35,36. Аналогично указывается номенклатура для карт других масштабов.

Листы карт, расположенные севернее параллели 76°, издаются четвертными и занимают 24° по долготе. Их обозначение производится таким же порядком, как и сдвоенных листов, только к номенклатуре западного листа приписываются номера последующих трёх листов. Например, лист карты для западной части Земли Франца-Иосифа будет иметь номенклатуру U-37, 38, 39, 40. Аналогично указывается номенклатура для карт других масштабов.

Севернее параллели 88° располагается лист Z, занимающий 360° долготы (т. н. круглую область) в номенклатуре которого номер колонны не указывается.

Схема международной разграфки и номенклатуры листов карт масштаба 1:1 000 000 дана на рисунке 10.

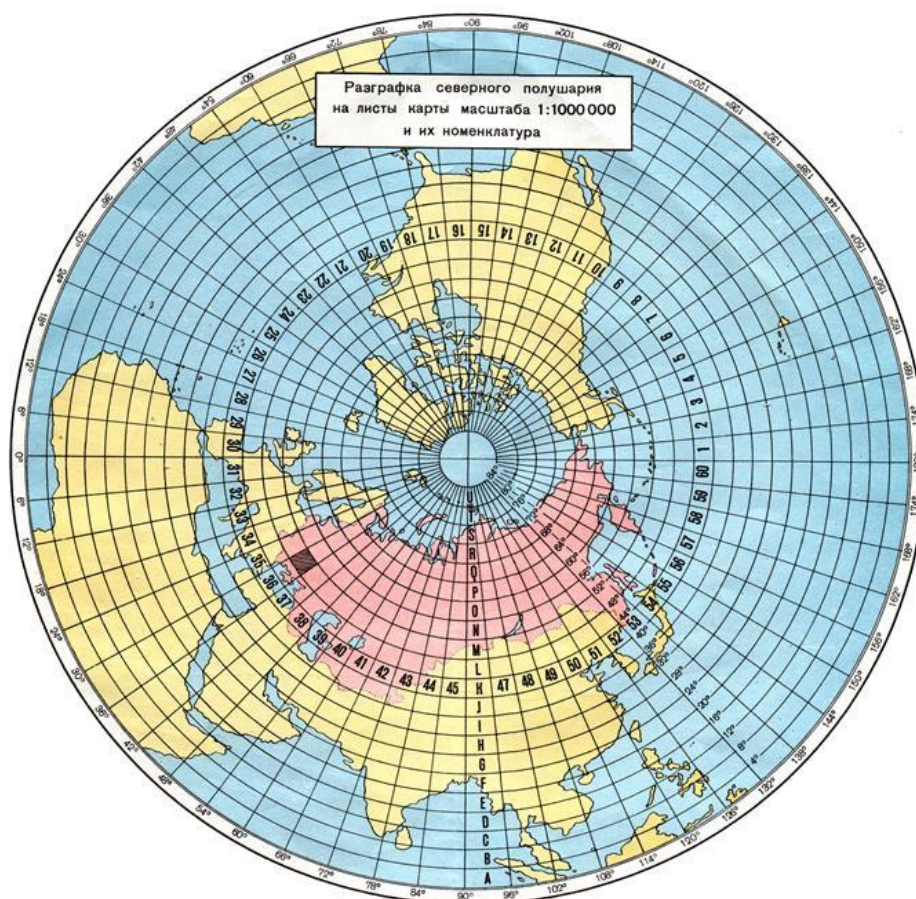


Рисунок 10 – Международная разграфка и номенклатура листов карт масштаба 1:1 000 000 (для Северного полушария)

В Республике Беларусь для топографических карт в системе координат СК-42 и СК-95 принята международная разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000. Листы каждой карты масштаба 1:1 000 000 ограничены отрезками дуг меридианов через 6° по долготе и параллелей через 4° по широте.

С севера на юг они объединены в шестиградусные *колонны*, разграфляя таким образом поверхность Земли на 60 колонн. Колонны нумеруются арабскими цифрами от 1 до 60, счёт которым ведут с запада на восток, начиная от меридиана 180° . Колонны соответствуют разграфке на шестиградусные зоны, счёт которых ведётся от меридиана 0° . Поэтому в Восточном полушарии номер зоны равен номеру колонны, уменьшенному на 30, т. е. тридцать первой колонне соответствует первая зона.

Для получения *рядов (поясов)* начиная от экватора, в Северном и Южном полушариях проводят параллели через 4° по широте. Таким образом, в каждом полушарии будет 22 четырёхградусных ряда и один двухградусный. Ряды обозначают заглавными буквами латинского алфавита от А до V, начиная от экватора. Лист каждой топографической карты получают в виде трапеции.

Номенклатурное обозначение каждого листа карты масштаба 1:1 000 000 складывается из буквенного обозначения ряда и номера колонны. Например, лист карты (трапеции) в пределах которого находится г. Минск обозначен N-35 (рисунок 11).

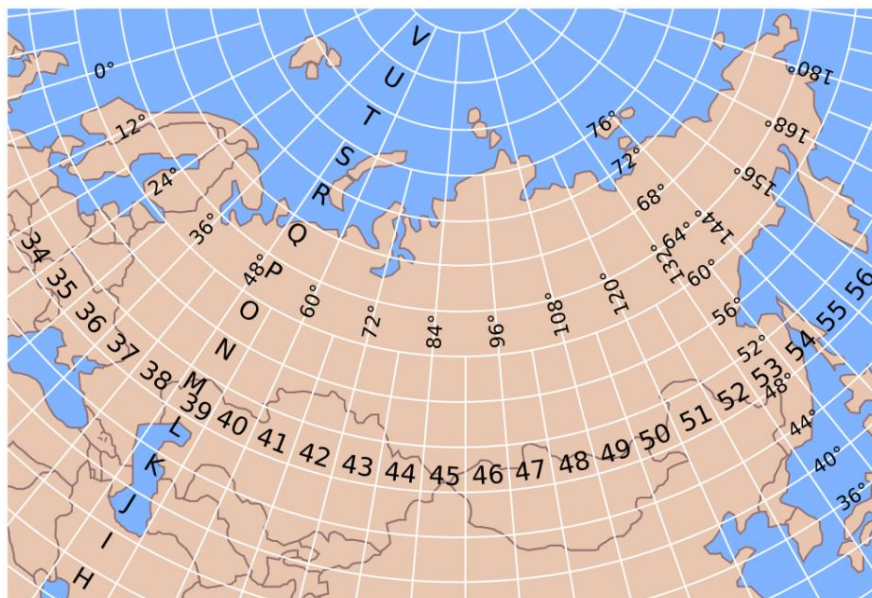


Рисунок 11 – Схема разграфки карт масштаба 1:1 000 000
(для территории стран СНГ)

Номенклатуру стандартных масштабов топографических карт более крупных масштабов определяют по специальным *бланковым картам* (рисунки 12–13).

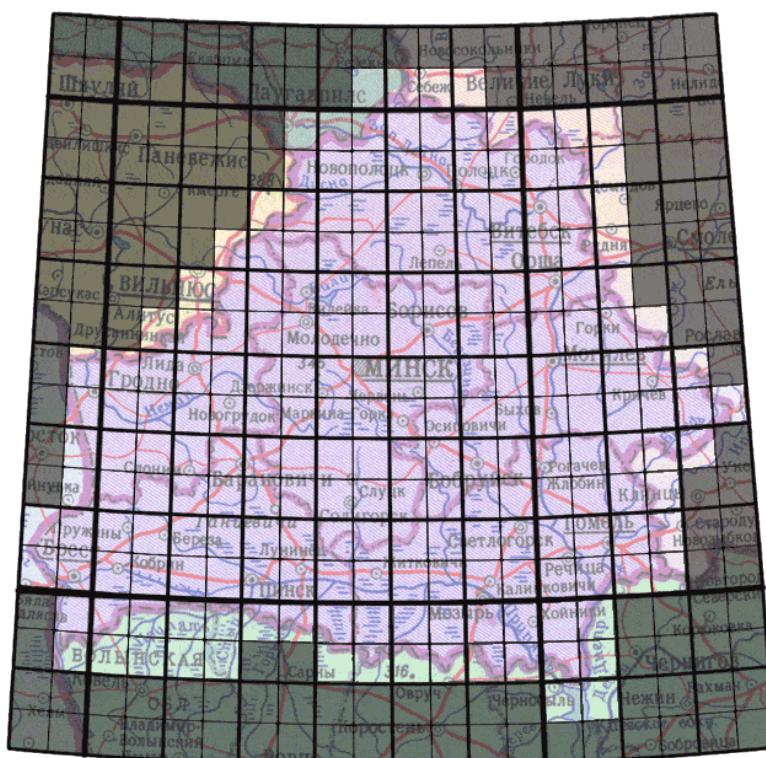


Рисунок 12 – Бланковая карта Республики Беларусь
для топографических карт масштаба 1:50 000

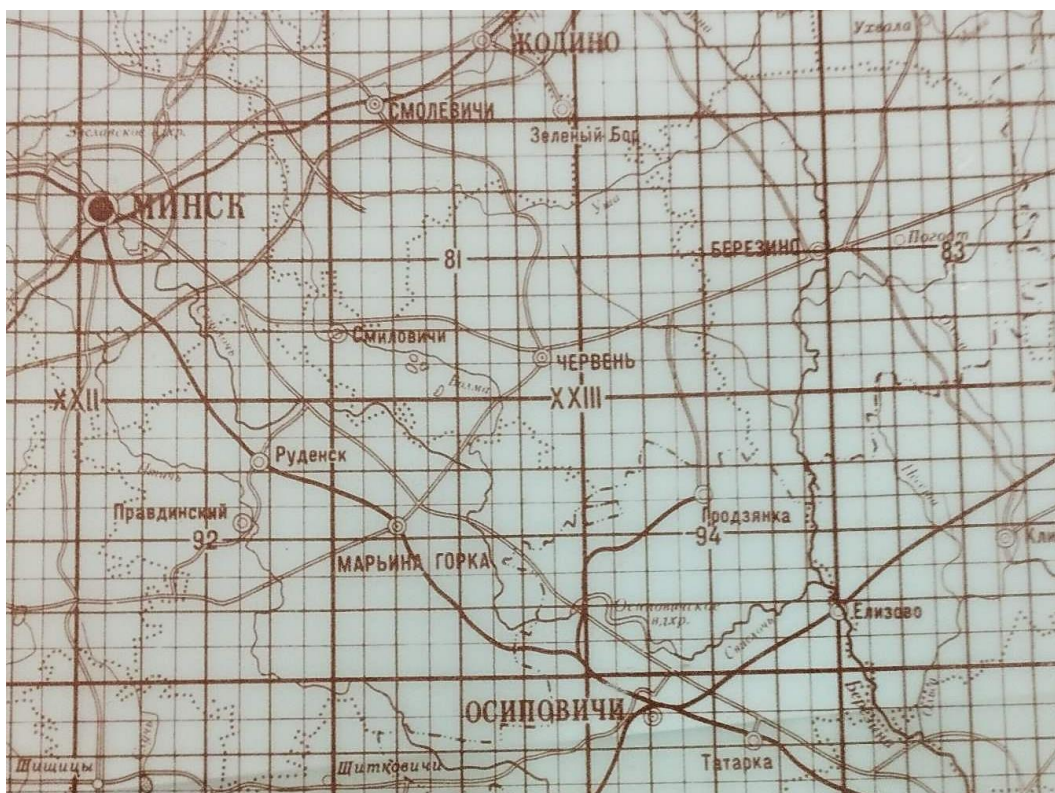


Рисунок 13 – Фрагмент бланковой карты Республики Беларусь для топографических карт масштаба 1:10 000

Бланковая карта – специальная контурная карта с нанесённой на неё сеткой-разграфкой для определения номенклатуры отдельных листов топографических карт разных масштабов.

Для определения номенклатуры электронного варианта топографических карт принято использовать следующие обозначения: для ряда (пояса) указывается порядковый номер буквы латинского алфавита, причём впереди ставится «0», например, М-013, N-014, O-015, а впереди номера колонны, также приписывают «0» (34-034, 35-035, 36-036).

Таким образом, номенклатура листов карт масштаба 1:1 000 000 для территории Беларуси будет иметь вид: М-34 → 013-034; N-35 → 014-035; М-36 → 013-036.

Система координат 1963 года (СК-63) – система плоских прямоугольных координат в картографической проекции Гаусса-Крюгера. Референц-эллипсоид для СК-63 – эллипсоид Красовского, не имеющий сдвига или поворота относительно референц-эллипсоида СК-42. Взаимное расположение и конфигурация районов СК-63 отображаются также на специальных бланковых картах. На рисунке 14 представлена схема разграфки территории Республики Беларусь в СК-63.

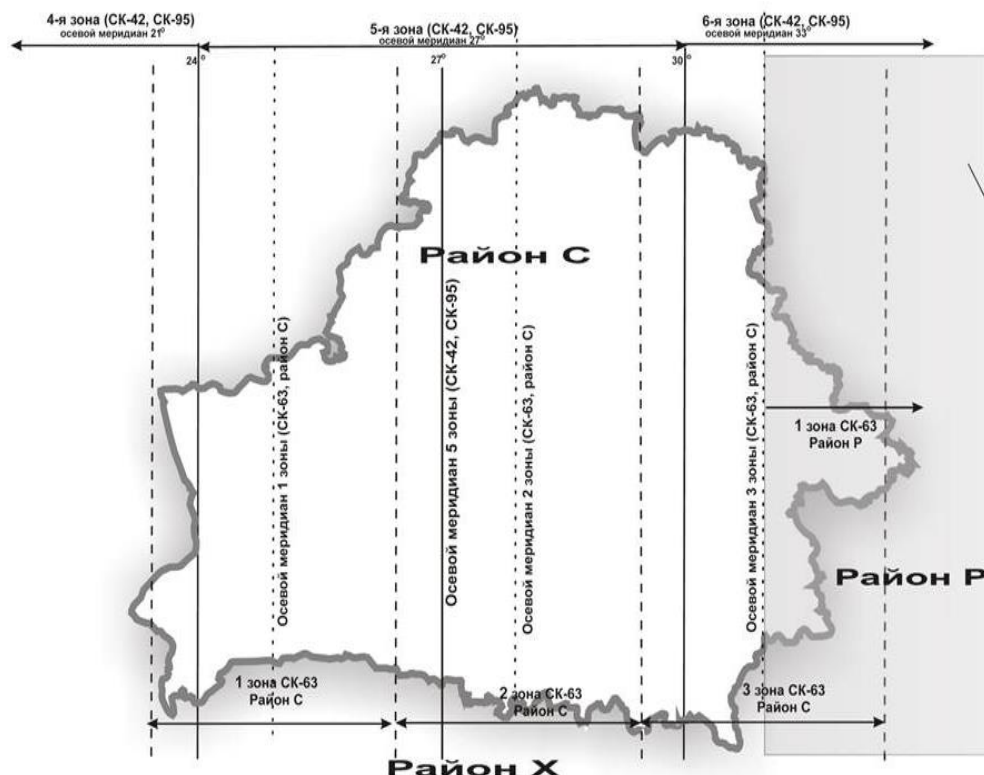


Рисунок 14 – Схема разграфки территории Республики Беларусь в СК-63

Согласно данной разграфке, территория Беларуси располагается в зоне С, Р и Х. Протяжённость геодезических зон по долготе составляет 3° или 6° . Самыми мелкомасштабными в СК-63 являются топографические карты масштаба 1:100 000. В СК-63 используются карты и более крупного масштаба: 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000. Их разграфка и номенклатура определяются по стандартному для СК-42 принципу. Номенклатура листа карты 1:100 000 имеет вид С-44-29, где С – район, 44 – номер карты 1:100 000 в колонне, увеличивающийся с юга на север, 29 – номер карты 1:100 000 в ряду, увеличивающийся с запада на восток.

Карты иных масштабов из стандартного для СК-42 масштабного ряда (1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:50 000) для СК-63 не существуют.

Сетка плоских прямоугольных координат в СК-63 строится на основании таких параметров, как долгота осевого меридиана геодезической зоны, смещение по ординате и по абсциссе.

Пересчёт плоских прямоугольных координат из СК-42 в СК-63 (или обратно) выполняется методом преобразования координат в СК-42 (X, Y) в геодезические координаты на эллипсоиде Красовского (B, L), а затем в координаты в СК-63 (X, Y). Аналогичная схема пересчёта применяется и при обратном преобразовании.

1.8. Земной магнетизм

Земной магнетизм – раздел геофизики, изучающий распределение в пространстве и изменение во времени магнитного поля Земли и связанные с ним геофизические процессы. Земля обладает магнитным полем, наглядно проявляющимся в воздействии на магнитную стрелку. Свободно подвешенная

в пространстве, она в любом месте устанавливается в направлении магнитных силовых линий, сходящихся в магнитных полюсах. **Магнитный полюс** – условная точка на земной поверхности, в которой силовые линии магнитного поля Земли направлены строго под углом 90° к поверхности.

Впервые **южный магнитный полюс (ЮМП)** был открыт в 1831 году на севере Канады английским полярным исследователем Джоном Расселом. А его племянник Джеймс Росс, спустя 10 лет достиг **северного магнитного полюса (СМП)** Земли, находившегося в то время, в Антарктиде. Таким образом, магнитные полюса Земли не совпадают с географическими и постоянно изменяют свое местоположение. Со второй половины XX века ЮМП довольно быстро движется в сторону полуострова Таймыр. В 2009 году скорость движения ЮМП в северном полушарии составила рекордные 64 км в год.

Координаты магнитных полюсов (данные 2012 года):

южный магнитный полюс – $85^\circ 54' 00''$ с. ш., $147^\circ 00' 00''$ з. д.;

северный магнитный полюс – $64^\circ 24' 00''$ ю. ш., $137^\circ 06' 00''$ з. д.

Силовые линии, идущие от одного полюса к другому, называются **магнитными меридианами** (рисунок 15).

Они не совпадают с географическими по направлению, и магнитная стрелка компаса не указывает строго направление север-юг. Вследствие несовпадения географических и магнитных полюсов магнитный и географический меридианы в данной точке земной поверхности образуют между собой угол δ , называемый **склонением магнитной стрелки** или **магнитным склонением**. Магнитное склонение может быть **восточным** – положительным, если северное направление магнитного меридиана отклоняется к востоку от географического и **западным** – отрицательным, если северное направление магнитного меридиана проходит к западу от географического (рисунок 16).

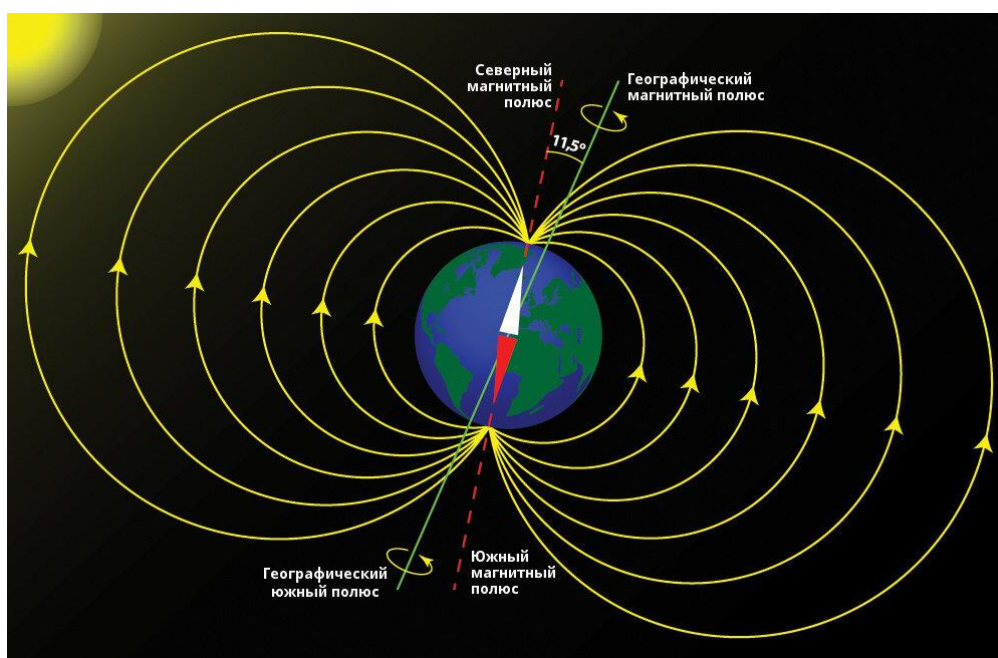


Рисунок 15 – Магнитное поле Земли

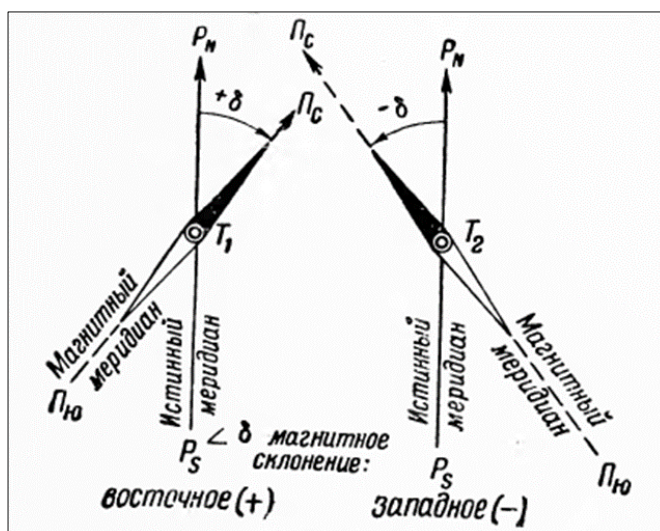


Рисунок 16. Определение величины магнитного склонения

Склонение магнитной стрелки изменяется в зависимости от места и времени. Различают: суточные, годовые и вековые изменения склонения. Кроме того, величина склонения изменяется под влиянием магнитных бурь, связанных с полярным сиянием, солнечной активности, землетрясений, в районах магнитных аномалий и т. д. Суточные колебания склонения магнитной стрелки не превышают 5–15'. Вследствие этого, ориентирование по магнитному азимуту проводится лишь в тех случаях, когда не требуется большая точность.

Свободно подвешенная магнитная стрелка сохраняет горизонтальное положение только на линии магнитного экватора. *Магнитный экватор* не совпадает с географическим и отклоняется от него к югу в Западном полушарии и к северу в Восточном. К северу от магнитного экватора северный конец магнитной стрелки опускается, причём тем больше, чем меньше расстояние до магнитного полюса. В северном полушарии указывающий на север конец стрелки отклоняется вниз, в южном – вверх. На магнитном полюсе Северного полушария стрелка становится вертикально, северным концом вниз. К югу от магнитного экватора вниз наклоняется, наоборот, южный конец стрелки. Угол, образованный магнитной стрелкой с горизонтальной плоскостью, называется *магнитным наклонением* или *наклонением магнитной стрелки*. **Магнитное наклонение** – угол, на который отклоняется стрелка под действием магнитного поля Земли в вертикальной плоскости. Магнитное наклонение может быть *северным* и *южным* и изменяется от 0° на магнитном экваторе до 90° на магнитных полюсах.

Для ориентирования на местности относительно сторон света и ориентирования карт применяют компас. Более точно ориентирование выполняют при помощи **буссоли** (рисунок 17).



Рисунок 17 – Ориентир-буссоль

Буссоль является самостоятельным геодезическим прибором и может служить частью других геодезических приборов. Свободно подвешенная стрелка не должна своими концами прикасаться к стеклу или дну корпуса буссоли. Для уравнивания магнитной стрелки в горизонтальной плоскости, в Северном полушарии, на южном конце магнитной стрелки расположен хомутик, изготовленный, как правило, из алюминия, и который может передвигаться в зависимости от приближения (удаления) магнитного полюса.

Магнитное склонение и наклонение характеризуют направления магнитных силовых линий в любом пункте в данный момент.

Различают **постоянное** и **переменное магнитные поля Земли**. Постоянное обусловлено магнетизмом самой планеты. Представление о состоянии постоянного магнитного поля Земли дают магнитные карты. Они сохраняют точность только в течение нескольких лет, так как магнитное склонение и магнитное наклонение непрерывно, хоть и очень медленно, изменяются. Обычно магнитные карты составляются один раз в пять лет (рисунок 18).

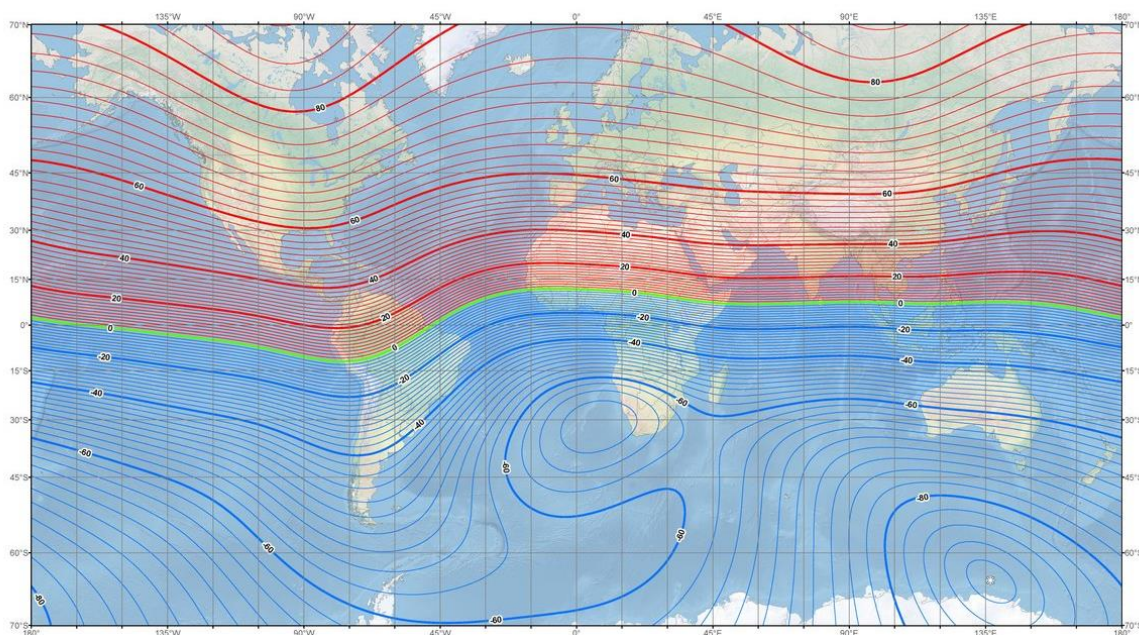


Рисунок 18 – Изогоны магнитного поля Земли на эпоху 2015 года

Магнитные аномалии – отклонение значений магнитного склонения и наклонения от их среднего значения для данного места. Они могут охватывать огромные площади, тогда их называют *региональными*, или быть небольшими, и тогда их называют *локальными*. Примером региональной магнитной аномалии является **Восточно-Сибирская магнитная аномалия**. Здесь обнаружено западное склонение вместо восточного. Магнитное поле этой аномалии очень медленно затухает с высотой. По данным искусственного спутника Земли влияние магнитной аномалии на высоте уменьшается очень незначительно. Примером локальной магнитной аномалии может являться **Курская магнитная аномалия**, создающая напряжение магнитного поля в 5 раз больше среднего напряжения магнитного поля Земли.

Большинство аномалий объясняется залеганием горных пород, содержащих железные руды.

Магнитные бури – особенно сильные возмущения магнитного поля, проявляющиеся в быстром отклонении магнитной стрелки от нормального положения. Магнитные бури вызываются вспышками на Солнце и сопровождающим их проникновением к Земле и в её атмосферу электрически заряженных частиц. Так, 23 февраля 1956 года на Солнце произошёл взрыв. Он продолжался несколько минут, а на Земле разразилась магнитная буря, в результате которой была на 2 часа нарушена работа радиостанций, вышел из строя на некоторое время трансатлантический телефонный кабель. Результатом магнитных бурь являются полярные сияния.

Магнитное поле Земли простирается вверх до высоты примерно 90 тыс. км. До высоты 44 тыс. км величина магнитного поля Земли убывает. В слое от 44 тыс. км до 80 тыс. км магнитное поле неустойчиво, в нём постоянно происходят резкие колебания. Выше 80 тыс. км интенсивность магнитного поля быстро падает.

Магнитное поле Земли либо отклоняет, либо захватывает заряженные частицы, летящие от Солнца или образующиеся при воздействии космических лучей на атомы или молекулы воздуха. Заряженные частицы, попавшие в магнитное поле Земли, образуют радиационные пояса. Всю область околоземного пространства, в которой находятся заряженные частицы, захваченные магнитным полем Земли, называют **магнитосферой**.

Распределение магнитного поля по земной поверхности постоянно меняется. Оно медленно смещается к западу. В начале XIX века магнитный меридиан нулевого склонения проходил близ Москвы, в начале XX века он переместился к Санкт-Петербургу, а теперь находится у западных границ Украины. Меняется положение и магнитных полюсов.

Магнетизм имеет большое практическое значение. При помощи магнитной стрелки определяют направления по сторонам горизонта. Для этого всегда необходимо в показание компаса вводить поправку на магнитное склонение. Связь магнитных элементов с геологическими структурами служит основанием для магнитных методов разведки полезных ископаемых.

В 2013 году Европейское космическое агентство запустило миссию Swarm, состоящую из трёх спутников для изучения магнитного поля Земли.

1.9. Часовые пояса

Понятие *часовой пояс* имеет два основных значения: географический часовой пояс и административный часовой пояс.

Географический часовой пояс – условная полоса на земной поверхности шириной ровно 15° ($\pm 7,5^\circ$ относительно среднего меридиана). Средним меридианом нулевого часового пояса считается *гринвичский меридиан*.

Административный часовой пояс – участок земной поверхности, на котором в соответствии с некоторым законом установлено определённое официальное время. Как правило, в понятие административного часового пояса включается ещё и *совпадение даты* – в этом случае, например, пояса UTC–10:00 и UTC+14:00 будут считаться различными, хотя в них действует одинаковое время суток.

При формировании часовых поясов учитывается вращение Земли вокруг своей оси, а также определяются территории (временные зоны) с примерно одинаковым местным солнечным временем так, чтобы различия по времени между ними были кратны одному часу. Существует *24 административных часовых пояса* каждый из которых совпадает с географическим часовым поясом. Точкой отсчёта принят *гринвичский* (нулевой меридиан) или *средний меридиан нулевого часового пояса*.

Время устанавливается при помощи **всемирного координированного времени (UTC)**, которое введено вместо *времени по Гринвичу (GMT)*. Шкала UTC базируется на *равномерной шкале атомного времени (TAI)* и является более удобной для гражданского использования. Часовые пояса вокруг земного шара относительно нулевого меридиана выражаются как положительное (к востоку) и отрицательное (к западу) смещение от UTC. Для территорий часового пояса, где используется перевод часов на летнее время, смещение относительно UTC на летний период меняется.

В основу современной системы часовых поясов положено всемирное координированное время, от которого зависит время всех часовых поясов. Для того чтобы не вводить местное время для каждого градуса (или каждой минуты) долготы, поверхность Земли условно поделена на 24 часовых пояса. При переходе из одночасового пояса в другой, значения минут и секунд (времени) сохраняются, изменяется лишь значение часов. Существуют некоторые страны, в которых местное время отличается от всемирного не только на целое количество часов, но ещё дополнительно на 30 или 45 мин.

Теоретически 24 часовых пояса земного шара должны ограничиваться меридианами, проходящими на $7^\circ 30'$ восточнее и западнее среднего меридиана каждого пояса, причём вокруг *гринвичского меридиана* действует всемирное время. Однако в реальности для сохранения единого времени внутри одной и той же административной или природной единицы границы поясов смещены относительно меридианов; местами некоторые часовые пояса даже могут «пропадать», теряясь между соседними.

На Северном и Южном полюсах меридианы сходятся в одной точке, и поэтому там понятие часовых поясов, а заодно и местного времени, теряет

смысл. Считается, на полюсах должно использоваться всемирное время, однако на станции Амундсен-Скотт (Южный полюс) действует время Новой Зеландии.

UTC+0 – Западноевропейское (Zulu) время (Дублин, Эдинбург, Лиссабон, Лондон, Касабланка, Монровия);

UTC+1 – Центральноевропейское время (Амстердам, Берлин, Берн, Брюссель, Вена, Копенгаген, Мадрид, Париж, Рим, Стокгольм, Белград, Братислава, Будапешт, Варшава, Любляна, Прага, Сараево, Скопье, Загреб), **Западное центральноафриканское время (Alpha)**;

UTC+2 – Калининградское время (Калининград), **Восточноевропейское время** (зимой, летом);

UTC+3 – Афины, Бухарест, Вильнюс, Киев, Кишинёв, Рига, София, Таллин, Тирасполь, Хельсинки), Египет, Израиль, Ливан, Ливия, Турция, ЮАР;

UTC+3 – Московское время, Белорусское время (Минск), **Восточноафриканское время** (Кения, Эфиопия, Эритрея, Танзания, Сомали, Уганда, Судан, Мадагаскар), Ирак, Йемен, Кувейт, Саудовская Аравия, Катар.

Ключевая роль в развитии мировой системы сохранения времени и установке часовых поясов на всей поверхности земного шара принадлежит канадскому инженеру-железнодорожнику сэру Сэндфорду Флемингу (выступление на Конференции в Канадском институте в г. Торонто 8 февраля 1879 года), который считал, что проблему нельзя решить внедрением часовых поясов только на территории Северной Америки и что она является глобальной. Его начальное предложение – 24 часовых пояса для всего мира – восприняли как утопическое. Как и большинство новых и уникальных идей, она была отвергнута как правительствами, так и учёными. Но Флеминг настойчиво пропагандировал и отстаивал свою идею на различных международных конференциях.

В октябре 1884 года 41 делегат из 25 стран мира собрались на Международную меридианную конференцию в Вашингтоне (округ Колумбия) с целью обсуждения и, если возможно, выбора меридиана, подходящего для применения как общий ноль долготы и стандарт время исчисления по всему миру. Итоговый документ конференции включал следующие резолюции (суть изложена в сокращённой формулировке):

- рекомендовалось *принять для всех стран единый нулевой меридиан* вместо нескольких существующих.

- предлагалось принять за такой *единый меридиан* тот, что проходит через *главный телескоп Гринвичской обсерватории*.

- долгота должна *отсчитываться на 180° на восток и запад* от данного меридиана.

- предлагалось применение *универсальных суток*, где это будет признано удобным и не создаст помех для обычного времяисчисления.

Универсальные сутки – это средние солнечные сутки, за начало которых во всём мире принимается момент средней полночи на нулевом меридиане, их отсчёт должен производиться от 0 до 24 часов.

Предполагалось, что с появлением практической возможности астрономические и навигационные сутки также будут начинаться в среднюю

полночь. Выражалась надежда на дальнейшие исследования для распространения десятичной системы счисления углов и времени везде, где это даёт реальные преимущества.

Три основные резолюции, в которых говорится о целесообразности применения единого нулевого меридиана, всемирных суток и десятичного отсчёта углов и времени, были приняты почти единогласно. При утверждении трёх специальных резолюций, определяющих нулевой меридиан и всемирное время, Великобритания и США вместе с большинством стран проголосовали «за», тогда как Бразилия, Франция и Доминиканская республика воздержались или проголосовали против. Австро-Венгрия, Германия, Италия, Нидерланды, Испания, Швеция, Швейцария и Турция поддержали блок Великобритании и США в выборе гринвичского меридиана, но воздержались или проголосовали против принятия других резолюций. Важнейшим итогом конференции была рекомендация применения гринвичского времени в качестве всемирного.

Большинство стран приняли систему часовых поясов уже до 1922 года, но даже на сегодняшний день она ещё не является в полной мере, реализованной – существует несколько часовых поясов, для которых разница между стандартным временем пояса и средним временем по Гринвичу составляет дробное количество часов (рисунок 19).

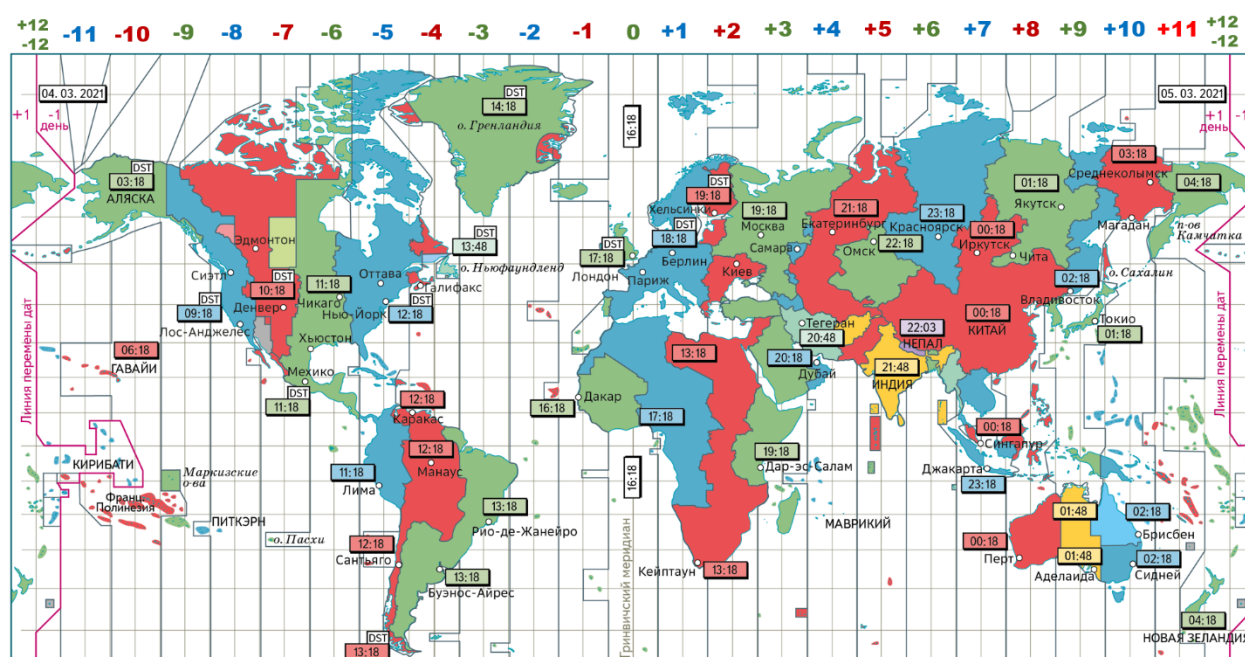


Рисунок 19 – Часовые пояса мира (по состоянию на 2021 год)

В 1884 году астроном Отто Струве, представлявший Российскую империю на Международной меридианной конференции, в своём отчёте дал отрицательный отзыв о проекте деления на часовые пояса. Правительство России не присоединилось к международной системе, и часовых поясов в России не существовало вплоть до Октябрьской революции.

В 1919 году Совет народных комиссаров РСФСР постановил разделить страну на 11 часовых поясов, границы которых в европейской части и в Западной Сибири были проведены в основном по рекам и железным дорогам. Фактически система часовых поясов (или система поясного времени) была введена на всей территории РСФСР и СССР в 1924 году. В 1930–1931 годах границы административных часовых поясов СССР формально не изменялись, но в каждом часовом поясе стало действовать время соседнего восточного пояса. Впоследствии границы часовых поясов пересматривались с учётом местной топографии и прохождения административных границ в 1956, 1980 и 1992 году.

Таким образом, в СССР, а затем в России, в период с 1919 по 2011 год одновременно существовали *официальные административные часовые пояса*, в пределах которых действовало разное время, и *неофициальные* – в пределах которых действовало единое время. К 2011 году границы неофициальных административных часовых поясов значительно отличались от границ, установленных в 1919–1924 годах. Более того, оказался нарушенным принцип непрерывности часовых поясов – появились границы поясов, где время изменяется сразу на 2 часа.

Часовые пояса в географических атласах иногда обозначаются числами от 0 до 23 в направлении к востоку от начального меридиана. Используется также обозначение числами со знаком, от +1 до +12 на восток от нулевого часового пояса до линии перемены даты и от –1 до –12 на запад. Наряду с этим существует буквенное обозначение – Z для нулевого пояса, A–M (кроме J) для восточных поясов и N–Y для западных. Буква J используется для обозначения местного солнечного времени в точке наблюдения. Буквы могли озвучиваться с помощью фонетического алфавита, например, «зулу» (Zulu) для Z (время по Гринвичу). Отсюда происходит термин «время зулу» или «время по зулу».

1.10. Картографические условные знаки

Условные знаки – система знаковых графических обозначений, применяемая для изображения на топографических картах и планах различных объектов и явлений, их качественных и количественных характеристик, а также для отображения ситуации и рельефа. Условные знаки для карт представляют систему графических, цветовых, буквенных и цифровых обозначений.

Графические знаки – это разнообразные графические построения в виде фигур (или значков) и линий, отличающихся по форме, размерам, количеству составляющих элементов.

Цветовые обозначения применяются для придания картам большей наглядности и читаемости. При изображении содержания карт употребляют следующие цвета: *объекты гидрографии* показывают **голубым цветом**, *растительность (лесные массивы и сады)* – **зелёным**, *шоссейные дороги и огнеупорные здания* – **оранжевым и красным**, *улучшенные дороги и неогнеупорные здания и постройки* – **жёлтым**, *естественные формы рельефа* – **коричневым** (искусственные – чёрным цветом). Все остальные

элементы карты показывают **чёрным цветом** (контурная часть, различные сооружения, названия населённых пунктов).

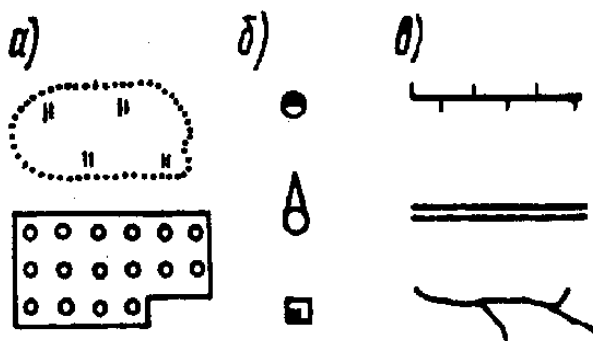
Буквенные обозначения используются для подписи географических названий объектов. Определённую смысловую нагрузку имеют шрифты и их размер. С помощью буквенных обозначений указывается дополнительная характеристика объектов, которая сопровождается соответствующим пояснением в виде принятых сокращений (кирпичный завод, мукомольная фабрика, школа, больница и др.).

Цифровые обозначения используются для указания различных количественных характеристик. Например: отметок высот точек земной поверхности, характеристик дорог, мостов, туннелей, лесных массивов и др.

Основные требования, предъявляемые к условным знакам – это простота рисунка, наглядность и запоминаемость, позволяющие уяснить смысл обозначений.

Все элементы местности по пространственной протяжённости разделяют на две группы: *местные предметы* или **ситуация** и *формы поверхности Земли* или **рельеф местности**. Каждая из групп изображается на картах принятыми условными знаками. Местные предметы или ситуация отображаются на картах посредством разнообразных геометрических построений в виде фигур, линий и их сочетаний, дополненных буквенно-цифровыми и цветовыми обозначениями.

Условные знаки, изображающие ситуацию местности, подразделяются на *контурные* или *площадные*, *внемасштабные* и *линейные* (рисунок 20).



а – площадные; б – внемасштабные; в – линейные
Рисунок 20 – Типы условных знаков

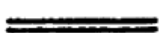
Площадные, или **контурные** условные знаки показывают предметы местности в масштабе карты с соблюдением действительных размеров и формы. Границы знаков совпадают с внешним контуром изображаемого объекта. Площадь внутри контуров заполняют соответствующими значками (луг, лес, сад, болото, кустарник и др.).

Внемасштабными условными знаками изображают предметы местности, размеры которых не выражаются в масштабе данной карты (геодезические знаки, колодцы, водонапорные башни и др.).

Линейные условные знаки изображают линейно вытянутые объекты. Причём длина объектов выражается в масштабе карты, а ширина может быть преувеличена. Положение таких объектов на местности определяется направлением осевой линии. Примером являются: шоссейные и железные дороги, линии электропередач, трубопроводы и др.

Примеры определения местоположения объектов, изображённых немасштабными условными знаками, а также, что именно принимается за центр немасштабного условного знака представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Определение местоположения (координат) объектов, изображённых немасштабными условными знаками.

За центр знака принимается	Рисунок	Пояснение
геометрический центр фигуры		знаки в виде геометрических фигур
середина основания знака		знаки, имеющие форму фигуры с широким основанием
вершина прямого угла		знаки, имеющие форму фигуры с прямым углом
геометрический центр нижней фигуры		знаки, составленные из нескольких геометрических фигур
геометрическая ось знака		знаки, имеющие свою ось (дороги, шоссе и др.)

Условные знаки разрабатываются в соответствии с государственным законодательством и обязательны к применению для всех предприятий, организаций и учреждений, выполняющих топографо-геодезические и картографические работы, независимо от их ведомственной принадлежности.

Отдельно для топографических карт и топографических планов разработаны и утверждены условные знаки.

1.10.1. Условные знаки для топографических карт

Условные знаки для топографических карт разработаны в соответствии с *Законом Республики Беларусь* от 14 июля 2008 года «О геодезической и картографической деятельности» (с изменениями от 13 декабря 2021 года) и устанавливают требования к их применению,

начертанию и цветовому оформлению, а также к использованию шрифтов и условных сокращений подписей, используемых при создании и обновлении государственных топографических карт (рисунок 21).



Рисунок 21 – Условные знаки топографической карты масштаба 1:10 000.
Пример изображения сельского населённого пункта в красочном оригинале

Условные знаки применяются в зависимости от их использования для конкретного масштаба карты. В настоящее время действуют разработанные Государственным предприятием «Белгеодезия» и утверждённые Государственным комитетом по имуществу Республики Беларусь в 2018 году:

1. ГКНП 05-016-2018 «Условные знаки для топографической карты масштаба 1:10 000»;
2. ГКНП 05-015-2018 «Условные знаки для топографических карт масштабов 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000»;
3. ГКНП 05-019-2018 «Условные знаки для топографических карт масштабов 1:200 000 и 1:500 000».

1.10.2. Условные знаки для топографических планов

В 1986 году утверждены «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500», изданные в 1989 году. В настоящее время применяются условные знаки для составления *топографических планов масштабов 1:5 000 и 1:2 000*.

Для создания топографических планов масштабов 1:1 000, 1:500 и 1:200 применяют ТКП 45-1.02-293-2014 (02250) «Условные обозначения для инженерно-топографических планов масштабов 1:1 000, 1:500, 1:200», разработанные Производственным республиканским дочерним унитарным предприятием «Геосервис» (УП «Геосервис») и утверждёнными

1.11. Географические карты. Картографические произведения

Простейшие картоподобные изображения были известны ещё из древне, до зарождения письменности, созданы в пещерах или же высечены на камне. Они изначально включали только изображение небесного свода. Пещерная живопись и наскальные рисунки использовались как простые визуальные элементы, представлявшие собой как карту, так и просто похожие образы, наложенные на изображение какого-то животного. Человек пытался позднее наглядно представить взаимное расположение различных участков ландшафта, суши и морей. Помимо наскальных рисунков, до нас дошли древнейшие карты, составленные в Вавилоне, древнем Египте, Китае и древней Греции.

Термин **«карта»** появился в средние века, в эпоху Возрождения. Изначально до этого употреблялись слова **«tabula»** и **«descriptionis»** (изображение). Термин происходит от латинского **«charta»** – лист, бумага, производного от греческого **«χάρτης»** ['xartis] (хартес – бумага из папируса).

В Российской империи до начала XVIII века изначально карта называлась **«чертежом»**, т. е. изображением местности – чертами, черчением. Лишь в эпоху Петра I (1672–1725 годы) сначала появился термин **«ландкарта»**, а потом – **«карта»**. Интересно, что Илья Фёдорович Копиёвский (Копиёвич) (ок. 1651 года, Ляховичи – 1714 год, Москва) – белорусский просветитель, издатель, переводчик, поэт, писатель привнёс в русский язык термин **«карта»** вместо **«чертёж»**, **«глобус»** – вместо **«яблоко земное»**, а также названия двенадцати звёздных созвездий и начертания русского гражданского шрифта. Преемственность в определении термина **«карта»** от **«чертежа»** давалась в «Толковом словаре живого великорусского языка» Владимира Ивановича Даля (1865 год), где **«карта»** определяется как **«чертёж какой-либо части земли, моря, тверди небесной»**.

Сейчас термины **«карта»** или **«мапа»** используется в большинстве языков мира, в тоже время есть национальные названия карты в японском, китайской, литовском, венгерском и других языках (таблица 5).

Карты со временем приобретают свойства не только научного документа, но и составного элемента культуры всего человечества. Во все века развитие картографии шло неразрывно с возрождения не только науки и искусства, но и с учётом доминирующих в экономике технологических укладов.

В процессе развития человеческого общества расширялась сфера его влияния на географическую среду, всё более уверенно человек осваивал новые территории, овладевал водными просторами и т. д., а это вызывало к жизни одно из важнейших орудий познания Земли – **географическую карту**.

Один из самых крупных и разносторонних советских географов Николай Николаевич Баранский (1881–1963 годы) определил **место карты в географии** – **«карта – второй язык географии»**, при этом он неоднократно указывал, что

«карта – альфа и омега географии, начальный и конечный момент географического исследования», чем наиболее точно и верно выделил одно из центральных мест карты и картографии в географии.

Таблица 5 – Использование термина «карта» в разных языках мира.

Название термина «карта»	Язык
χάρτης ['xartis]	греческий
mapa	латинский
carte	французский
carta	итальянский, португальский
kaart	голландский
karte	немецкий
karta	шведский
kort	датский
harita	турецкий
map, chart	английский
mapa, carta	испанский
地图 [ditú]	китайский
地図 [chizu]	японский
terkep (изображение территории)	венгерский
zemelapis (лист Земли)	литовский

Существуют самые различные трактовки термина «карта»: *научная, популярная, картографическая, философская.*

Одно из наиболее употребительных определений карты в XX веке, было принято и закреплено **Международной картографической ассоциацией (МКА)**, предложенное Президентом МКА, советским картографом *Константином Алексеевичем Салищевым* (1905–1988 годы), оно отражено в **Многоязычном словаре технических терминов картографии**, изданном 1973 году Комиссией МКА:

Карта – уменьшенное, обобщённое изображение поверхности Земли, других небесных тел или небесной сферы, построенное по математическому закону на плоскости и показывающее посредством условных знаков размещение и свойства объектов, связанных с этими поверхностями.

Государственные стандарты, энциклопедические издания, справочники и учебники по картографии содержат несколько иные трактовки, часто отличающиеся лишь на редакционном уровне.

Наиболее традиционное ныне определение звучит так:

Карта – это математически определённое, уменьшенное, генерализованное изображение поверхности Земли, другого небесного тела или космического пространства, показывающее расположенные или спроецированные на них объекты в принятой системе условных знаков.

Исходя из определения карты необходимо выделить основные **свойства карты**:

- **математический закон построения** – применение специальных картографических проекций, позволяющих перейти от сферической поверхности Земли к плоскости карты;
- **знаковость изображения** – использование особого условного языка картографических символов;
- **обобщение и генерализация изображения на карте** – отбор и обобщение изображаемых объектов;
- **системность отображения действительности** – передача элементов и связей между ними, отображение иерархии геосистем.

Среди выделенных свойств географической карты одним из основных – является **образно-знаковость модели действительности**, что значительно отличает её от других графических моделей (аэро- и космические снимки, панорамы, пейзажи, картины, рисунки, другие художественные изображения) применением **картографических условных знаков** для передачи объектов, явлений и процессов реальной действительности, чем осуществляется существенная связь с ними на местности.

Карта, в отличие от снимка, не является копией местности, это изображение реальности, «пропущенное через голову и руки картографа». Образно говоря, *на снимке представлены только изображение и факты, а на карте ещё и научные понятия, обобщения, логические абстракции*. Картографическое изображение – самая целесообразная форма хранения, представления и передачи географической информации.

Географические карты сегодня одно из основных средств пространственной информации, основной документ для принятия различных решений, средство воспитания, картографическая основа в геоинформационных системах (ГИС), а также информационный источник в сети Интернет и гаджетах.

С помощью карты можно легко обозреть как земную поверхность в целом, так и любую территорию или регион выбранной местности. Можно выявлять связи и зависимости между объектами, определять местоположение объектов, их соотношение с другими, форму, величину объектов, устанавливать закономерности пространственного распределения, а также динамику и развитие явлений, давать характеристику любых объектов и территорий.

Выделяют **основные направления использования карт**, исходя из их содержания, назначения и масштаба:

- изучение физических особенностей земной поверхности,
- пространственный анализ и выявление закономерностей и взаимосвязей,
- общегосударственное и региональное планирование и управление,
- военное дело и оборона,
- геология и горное дело,
- развитие транспорта и инфраструктуры,
- борьба со стихийными бедствиями,
- туризм и рекреация,
- наука и образование.

Современная картография участвует в решении крупных народно-хозяйственных проблем: рациональное использование природных ресурсов, охрана природы, изучение мирового океана, познание космического пространства.

В наши дни *картографическая грамотность* – это:

- один из важных показателей общей культуры человека;
- готовность использовать картографические ресурсы для ориентации в пространстве и во времени в качестве международного языка общения, помогающего осваивать многомерное окружающее пространство;
- способность применять полученные знания, умения и навыки в области картографии и топографии для успешной профессиональной деятельности.

К *элементам географической карты* относятся:

- 1) *картографическое содержание*,
- 2) *математическая основа*,
- 3) *вспомогательное оснащение*,
- 4) *дополнительные данные*.

Основной элемент карты – *картографическое изображение*, т. е. содержание карты, совокупность сведений об объектах и явлениях, их размещении, свойствах, взаимосвязях, динамике. При этом картографическое изображение *общегеографических карт* включает гидрографию, населённые пункты, политико-административное деление, пути сообщения и средства связи, растительность и грунты, социально-экономические и культурные объекты. Всё это является *географической основой* для отображения *тематического содержания* карт различной тематики – *тематических карт*.

Картографическое изображение строится на *математической основе*, элементами которой на карте являются картографическая сетка, масштаб и геодезическая основа. На мелкомасштабных картах элементы геодезической основы не показываются.

Вспомогательное оснащение карты предназначено для облегчения чтения карты и пользования ею. Это различные картометрические графики (например, на топографической карте помещают график масштабов заложений для определения крутизны склонов местности), схемы изученности картографируемой территории и использованных материалов, разнообразные справочные сведения. Важнейший элемент всех карт – *легенда*, т. е. система использованных на ней условных обозначений и текстовых пояснений к ним.

Дополнительные данные включают карты-врезки, фотографии, диаграммы, графики, профили, текстовые и цифровые данные. Они не принадлежат непосредственно картографическому изображению или легенде, но тематически связаны с содержанием карты, дополняя и поясняя его.

Картографическое произведение – произведение, главной частью которого является картографическое изображение земной поверхности или любой другой поверхности (других планет, звёздного неба и т. п.).

Карты и другие картографические изображения представляют собой пространственно-временные образно-знаковые модели действительности, встречающиеся практически повсеместно.

Можно выделить *основные группы карт* и других *картографических произведений*, а также *картоподобных изображений*: глобусы (в т. ч. виртуальные), карты общегеографические (в т. ч. топографические), карты тематические, географические атласы, рельефные карты, блок-диаграммы, профили, анаглифические карты, фотокарты, карты-транспаранты, карты на микрофишах, цифровые карты, электронные карты, картографические анимации, бланковые, контурные, немые карты, карты-схемы, картоиды и картоподобные изображения (рисунок 22).

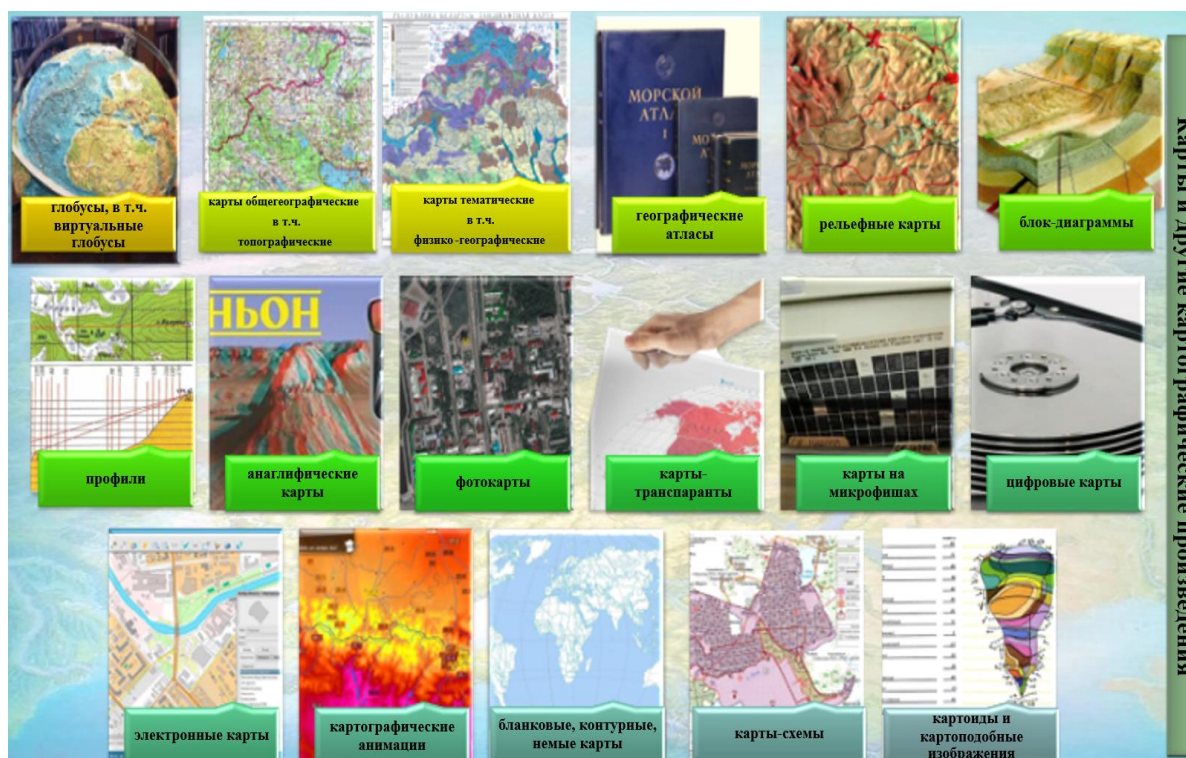


Рисунок 22 – Карты и другие картографическое изображения

Глобус – трёхмерная модель Земли или другой планеты, а также модель небесной сферы (небесный глобус). По Межгосударственному стандарту. «Картография. Термины и определения» *глобус* – это шарообразная модель небесного тела с нанесённым на неё картографическим изображением определённого масштаба или модель Звёздного неба. Самая древняя скульптура с изображением 65-сантиметровой небесной сферы – Атлант (Атлас) Фарнезе – эллинистическая скульптура Атланта или титана в греческой мифологии (рисунок 23). Вполне возможно, что самые первые небесные глобусы были действительно только моделями сферы без нанесённых изображений, но в тоже время они могли использоваться в мореплавании.



Рисунок 23 – Статуя Атланта из группы скульптур коллекции Фарнезе (римская копия в Археологическом музее Неаполя, II век н. э.)

На глобусе не искажаются длины линий, площади, углы и формы, а масштаб одинаков во всех точках. Глобус даёт наиболее правильное и наглядное представление о форме Земли, её размерах и взаимном положении частей земной поверхности, а также показывает вид элементов земного шара – оси вращения, полюсов, географической сетки, которая представлена на глобусе в виде дуг параллелей и меридианов, пересекающимися под прямыми углами. Наиболее применимы для земных глобусов масштабы 1:30 000 000 – 1:80 000 000. По тематике (содержанию) глобусы бывают *общегеографическими, политическими, геологическими, историческими* и т. п., а по назначению – *учебными, навигационными* и др.

Примерно в 150 году до н. э. (по другим данным – около 168–165 годов до н. э.) Кратесом Милосским из Пергамы изготовлен *первый глобус*. Модель не сохранилась, хотя представление о ней можно получить в одиннадцатом издании «Британской энциклопедии» – универсальной энциклопедии «Британника», выпущенной в 29 томах в 1910–1911 годах (рисунок 24).



Рисунок 24 – Глобус Кратеса в представлении анонимного автора в XI издании энциклопедии «Британника», 1910–1911 годы

С современных позиций трудно назвать этот образец настоящим глобусом, так как он был скорее теоретической моделью поверхности Земли, с учётом очертаний известных в ту пору европейцам материков и океанов. Однако его

значение велико, так как показывает, что уже в античные времена были выдвинуты предположения о шарообразности планеты Земля.

Второй глобус (гелиоцентрическая модель Земли) был создан в XI веке среднеазиатским учёным Аль-Бируни (973–1048 годы). Средние века были золотым веком для открытий и исследований «ещё непознанного и не открытого до конца мира».

Третьим глобусом можно считать *планисферу*, созданную арабским географом Мухаммадом аль-Идриси (1100–1166 годы). Аль-Идриси называют одним из «прародителей географии», благодаря важности вклада, который он внёс в картографию и географию. Сразу после Второго крестового похода в 1154 году, аль-Идриси по заказу нормандского короля Сицилии Рожера II, при участии 12 учеников-картографов составил планисферу в южной ориентировке. Она позволяет увидеть, насколько были знакомы к тому времени с географией Эйкумены христианские и мусульманские картографы, а также мореплаватели. Планисфера аль-Идриси имела вид 400-килограммового шара (диска) из чистого серебра, на котором были изображены семь континентов с важными торговыми путями, реками и озёрами, большими городами, долинами и горами. Конрад Миллер в 1928 году воссоздал латинизированную копию Планисферы Аль-Идриси в полном размере, которую можно ныне увидеть на сайте Библиотеки Конгресса США.

Четвёртый глобус также не сохранился – его приписывают в мусульманской литературе Джамаль ад-Дину (иногда транскрибируется Джамал уд-Дин), астроному из Бухары, который по приказу внука Чингисхана – хана Хулагу, изготовил в Пекине в 1267 году армиллярную сферу, астролябию и модель глобуса.

Пятый глобус, который можно увидеть сегодня – *деревянный глобус «Яблоко Земли»* Мартина Бехайма из Нюрнберга, 1492 год. Он был создан, с одной стороны, благодаря широкому распространению морских компасных карт – *портоланов (портуланов)*, на которых помещался линейный масштаб, а также подробно изображалась береговая линия и места стоянки судов. С другой стороны вопреки – т. к. компасные карты не были приспособлены для плавания по океанам, поэтому мореплаватели обратились к глобусам, которые с конца XV века стали изготавливаться для целей мореплавания (рисунок 25).

Глобус Бехайма имеет диаметр 507 мм, на нём зафиксированы доколумбовы представления о земном шаре как раз накануне открытия Америки, представлен хорошо известный европейцам Старый Свет, но отсутствует Америка, а Атлантический океан простирается до берегов Восточной Азии. Изображения на глобусе орнаментированы изображениями флагов, монархов на тронах, дополнены множеством любопытных надписей и воспроизводят географические представления своего времени, в основе которых лежали карты Птолемея с учётом изменений, внесённых путешествиями Марко Поло и экспедициями португальцев.



Рисунок 25 – Деревянный глобус «Яблоко Земли» М. Бехайма, 1492 год (слева), европейский портулан позднего средневековья, XIV–XVI века (справа)

К периоду позднего средневековья (XIV–XVI века) относится подъём в развитии картографии в Европе, возникает необходимость в географических картах для развития торговли не только по Средиземному и Чёрному морям. Начинается внедрение портуланов и глобусов в мореплавании. Глобусы стали важной составляющей навигационной науки, позволив увеличить точность расчётов.

Появление *книгопечатания* упростило создание *небесных глобусов*, когда вместо литого металлического шара, медного или бронзового сплава с награвированными созвездиями и звёздами можно было сделать деревянным и наклеивать на него специально отпечатанные листы-карты. Листы для *глобуса звёздного неба* представляли собой *Многополосную картографическую проекцию* от северного полюса до южного – что соответствовало развёртке глобуса. Их обычно изготавливали в виде участков – 12 секторов по 30° , что соответствовало числу знаков зодиака.

Позднее, уже в пилотируемых космических полётах в рамках советской космической программы с 1961 года в качестве инструмента навигации использовались **индикаторы местоположения и места посадки (ИМП) «Глобус»** (рисунок 26), которые к 2001 году были заменены на *цифровую модель Земли*.

Современные глобусы бывают разных видов и размеров: так, в США недавно создан *цифровой глобус*, а в Германии – первый *интерактивный (мультитач) глобус*.

Мультисенсорный глобус – необычная и высоко инновационная сферическая интерактивная информационная система с функцией мультитач на сфере.



Рисунок 26 – Навигационная система «Глобус»
на панели управления космического корабля «Восход»

Один из самых больших современных вращающихся в мире глобусов ныне считается *Глобус Эрта* (1999 год) масштаба 1:1 000 000, который состоит из 792 листов карт, а его диаметр – почти 13 м. Глобус размещён в офисе картографической компании «DeLorme» в г. Ярмут (штат Мэн, США), вблизи г. Портленд (рисунок 27).



Рисунок 27 – Вращающийся глобус Эрта, 1999 год

Все географические карты, в зависимости от их *содержания* делятся на две большие группы:

- 1) *общегеографические*,
- 2) *тематические*.

Общегеографические карты передают внешний вид земной поверхности и некоторые особенности объектов, расположенных на местности.

Тематические карты отражают размещение разнообразных природных и социально-экономических явлений с их качественными и количественными особенностями.

Географические атласы – систематические собрания карт, выполненные по единой программе как целостные картографические (рисунок 28). В атласах географические карты – общегеографические и тематические – увязаны, и взаимно согласованы между собой, они дополняют друг друга, предназначены специально для сопоставления и совместного анализа территории. Атласы классифицируют как по *пространственному охвату*, так и по *назначению, формату* и иным признакам. Они издаются в виде книг или альбомов, как в переплёте, так и отдельными листами, помещаемыми в дальнейшем в общую папку или коробку. Кроме карт атласы содержат пояснительные тексты, справочные материалы, графики, фотографии и т. п. информацию.

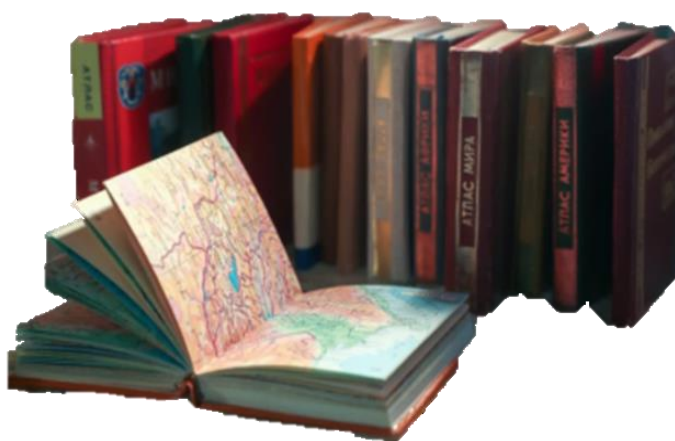


Рисунок 28 – Серия миниатюрных географических атласов
ГУГК СССР, 1982–1991 годы

Рельефные карты – это трёхмерные объёмные изображения земной поверхности и связанных с ней явлений (рисунок 29). Вертикальный масштаб на рельефных картах для лучшей выразительности значительно преувеличен. На этих картах применяется гипсометрическая раскраска высотных ступеней. Они используются как в учебных целях, так и в производственной деятельности, например, для проектирования водохранилищ, дорог и т. п.

Рельефные модели используют как самостоятельно, в качестве макетов местности, так и для изготовления рельефных карт и глобусов. Кроме того, фотоизображение рельефной модели применяется на картах в качестве отмычки.



Рисунок 29 – Фрагмент рельефной карты масштаба 1:250 000, г. Лейпциг, ГДР, 1963 год

Профили местности – чертежи местности, секущие вертикальной плоскостью по определённому направлению (рисунок 30). Они дают наглядное представление об относительных высотах точек земной поверхности по линии профиля и иногда – структуру земной коры, почвенного покрова, геологического строения и т. д. по данному направлению.

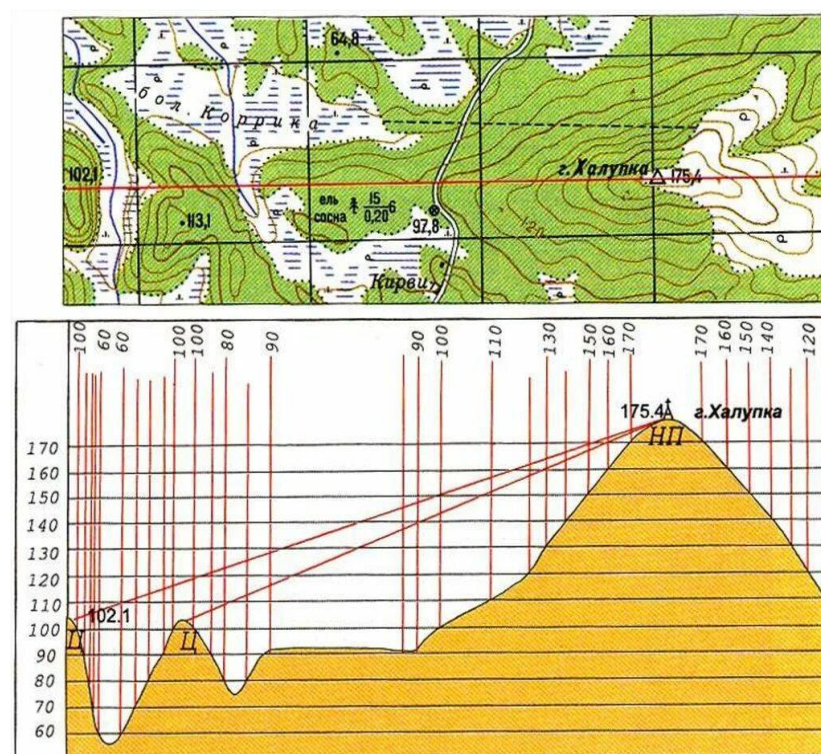


Рисунок 30 – Пример построения профиля местности по учебной топографической карте

Блок-диаграммы – представляют собой совмещение перспективного изображения земной поверхности с профилями (рисунок 31). Это плоские трёхмерные чертежи, изображающие местность совместно с продольными и поперечными вертикальными разрезами. По содержанию блок-диаграммы бывают различными: *геологическими* и *геоморфологическими* (отображают земную поверхность одновременно с разрезами земной коры), *почвенными* (показывают рельеф местности и почвенный профиль) и др. При построении блок-диаграмм для большей наглядности вертикальный масштаб обычно преувеличивают по сравнению с горизонтальным. Блок-диаграммы широко применяются в учебных целях, например для пояснения зависимости внешних форм рельефа от геологического строения местности. В настоящее время широко внедряются в практику электронные блок-диаграммы.

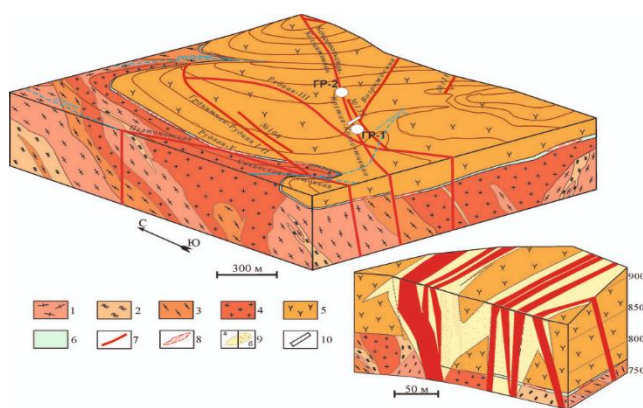


Рисунок 31 – Блок-диаграмма геологического строения участка местности

Анаглифические карты или **снимки (анаглифы)** – изображения, отпечатанные в двух цветах (например, красным и сине-зелёным) с параллактическим смещением (рисунок 32).



учебная топографическая карта – слева, анаглифический снимок на территорию г. Порт-о-Пренс (Гаити) – справа
Рисунок 32 – Анаглифические изображения

Для получения анаглифического изображения на снимках требуются *стереопары снимков* со спутников, которые могут осуществлять съёмку в стереорежиме с одного витка. При рассматривании таких карт или снимков через специальные очки-светофильтры с сине-зелёными и красными плёнками формируется единое объёмное стереоскопическое изображение.

Анаглифические фотоизображения (рисунок 32) с космических аппаратов GeoEye-1 за 13.01.2010 г. и WorldView-2 за 15.01.2010 г. с пространственным разрешением 0,5 м/пиксель применялись при поисковых операциях после серии крупнейших землетрясений 12.01.2010 г. города Порт-о-Пренс, столицы Республики Гаити, когда погибли сотни тысяч человек.

Фотокарты – карты, совмещённые с фотоизображением. Для их изготовления полиграфические оттиски фотопланов с преобразованным в ортогональную проекцию фотоизображением совмещают с картографическим изображением отдельных элементов местности (с координатной сеткой, горизонталями, надписями и др.) либо с тематическим содержанием (геологическое строение, ландшафты и т. п.). Если фотографической основой служат космические снимки, то такие карты называют *космофотокартами* (рисунок 33).



Рисунок 33 – Фрагмент космофотокарты на территорию г. Минска (картографический информационный ресурс «Яндекс Карты»)

Карты-транспаранты – вид географической карты, выполненный на прозрачной плёнке и предназначенные для проецирования на экран (рисунок 34).



Рисунок 34 – Фрагмент карты-транспаранта на прозрачной плёнке

Имея комплект (серию) таких карт разной тематики при демонстрации их на экране можно совмещать несколько карт-изображений разной тематики, чтобы показать связи явлений или степень согласования содержательных слоёв.

Карты на микрофишах – миниатюрные копии карт или атласов на фото- и киноплёнке (рисунок 35).



Рисунок 35 – Микрофиши архитектурных памятников и их увеличенное изображение

Микрофиша, микрофише, микрокарта (от «micro» – др.-греч. «μικρός» – маленький и фр. «fiche» – вбивать, втискивать) – копии плоских оригиналов документа, изготовленные фотографическим способом в виде микроформы на прозрачной форматной фотоплёнке (реже на непрозрачной основе) с последовательным расположением кадров в несколько рядов. На одной микрофише размером 6×12 или 7,5×12 см помещается от 30 до 130 карт или страниц текста.

Для чтения используются специальные читальные проекционные аппараты, создающие на встроенном экране увеличенное изображение в 5–20 раз одной или пары страниц. Такое уменьшение позволяет наиболее компактно хранить большое количество картографической информации и быстро находить нужные карты.

Возможно вводить информацию с микрофиш в компьютер. Информация на микрофишах: имеет «большой срок жизни», воспринимается человеком непосредственно, обеспечивается низкая себестоимость хранения, они не подвержены физическим внешним воздействиям.

Цифровые карты – цифровые модели географических карт, представленные в виде закодированных числовых значений плановых координат, их получают путём *дигитализации* («digitalization» – оцифровки) картографических источников, либо путём цифровой регистрации полевых съёмок или фотограмметрической обработки материалов дистанционного зондирования, а также цифровой регистрации данных. Цифровые карты создаются в проекции, системе условных знаков, принятых для карт данного типа, с учётом требуемой точности и правил генерализации.

Электронные карты – цифровые карты, визуализированные на дисплее или подготовленные для изображения в компьютерной среде с использованием программных и технических средств в принятой проекции, системе условных знаков, с соблюдением правил оформления и установленной точности (рисунок 36).

Картографические анимации – динамические последовательности электронных карт-кадров, создающие при демонстрации эффект перемещения картографического изображения по экрану, т. е. это – электронные программно-управляемые карты, передающие на экране компьютера передвижение (динамику) объектов и явлений (рисунок 37). Они используются для показа перемещения атмосферных фронтов, зон осадков, распространения лесных пожаров и т. п. Анимации могут сочетаться с фотоизображением местности, в этих случаях получают *виртуальные карты (виртуальные модели)*.

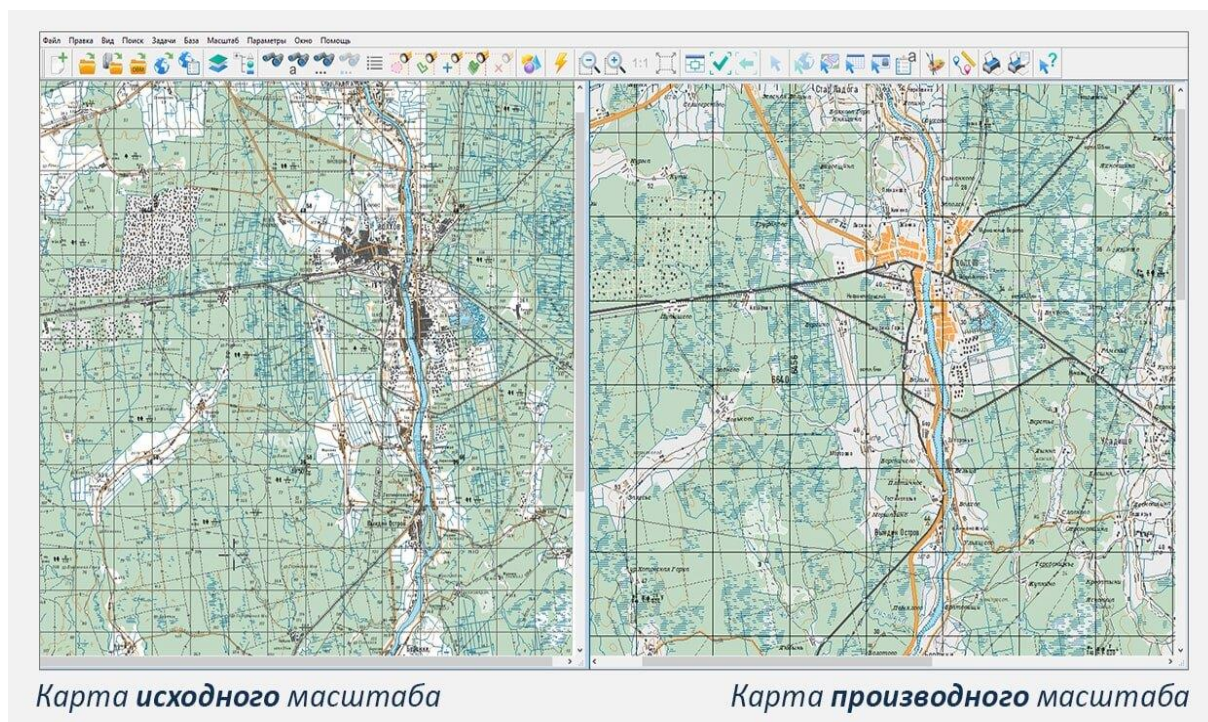


Рисунок 36 – Электронные карты, визуализированные в ГИС «Панорама»

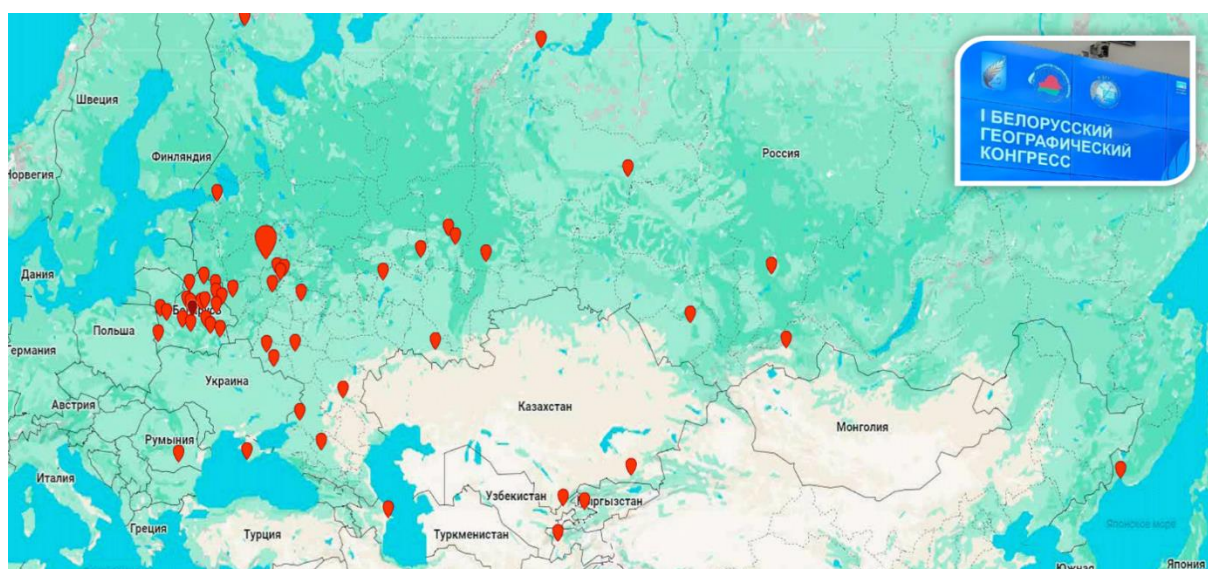


Рисунок 37 – Картографическая анимация мест проживания участников I Белорусского географического конгресса (2024 год), А. Р. Герман

Бланковые, контурные и немые карты – это карты с графическим представлением географической информации без географических названий для помощи учащимся в изучении географии и истории, чтобы лучше запомнить и понять карту мира и ориентироваться на ней, а также использования в качестве географической основы при создании макетов и оригиналов специального содержания тематических и специальных карт (рисунок 38).

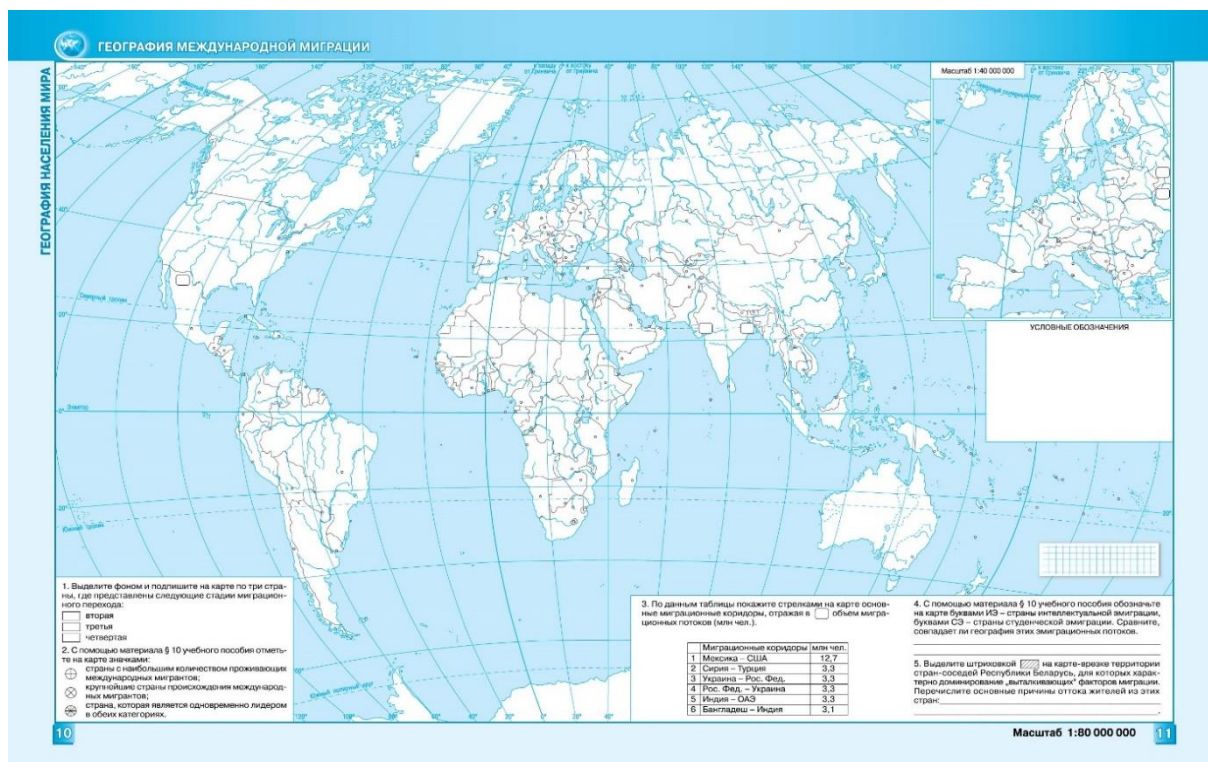


Рисунок 38 – Контурная карта «География международной миграции» для учащихся 10 класса. Издание РУП «Белкартография», 2024 год

Карты-схемы – карты с упрощённо-обобщённым изображением элементов содержания, обычно лишённые картографической сетки, содержание ограничено только элементами, важными для понимания её сюжетов (схемы метрополитена, маршрутов общественного транспорта и т. п.).

Картоподобные изображения – изображения, соединяющие плановые и профильные очертания предметов, иногда сопровождаемые текстами, на которых показаны изображения определённых, небольших по площади территорий. Существуют с первобытных времён и имеют достаточно широкий спектр практического применения.

Картоиды – это упрощённое картоподобное изображение географического пространства, при создании которого основные картографические правила не соблюдаются (рисунок 39). У картоидов отсутствуют масштаб, картографическая проекция и контуры, а формы объектов грубые. Главный принцип картоидного изображения – лаконичность.

Термин «картоид» в теорию картографии и географии в 70-х годах XX века ввёл Борис Борисович Родман (1931–2023 годы). Ранее слово имело негативное значение, картоидами называли неточные и сомнительные карты.

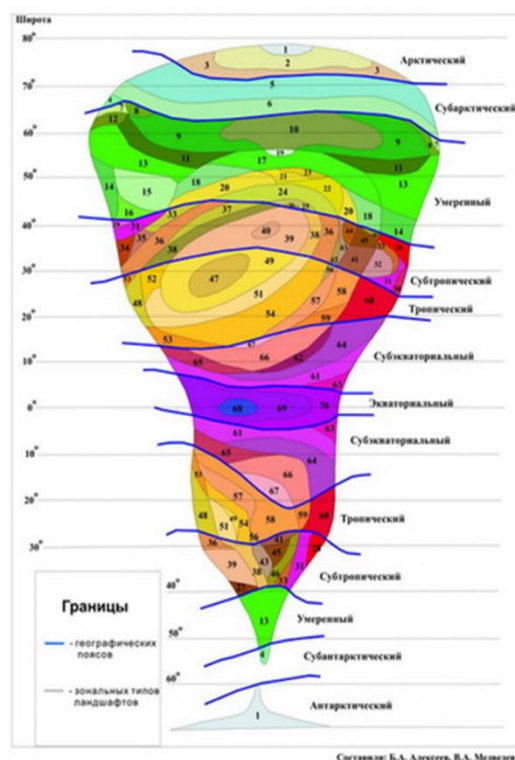


Рисунок 39 – Картоид распределения географических поясов и зон на гипотетическом материке (МГУ им. М. В. Ломоносова)

Анаморфозы – упрощённое картоподобное изображение, созданное посредством способа картографического изображения явления – *картограммы* (рисунок 40). Среди анаморфированных изображений можно выделить *линейные, площадные и объёмные анаморфозы*.

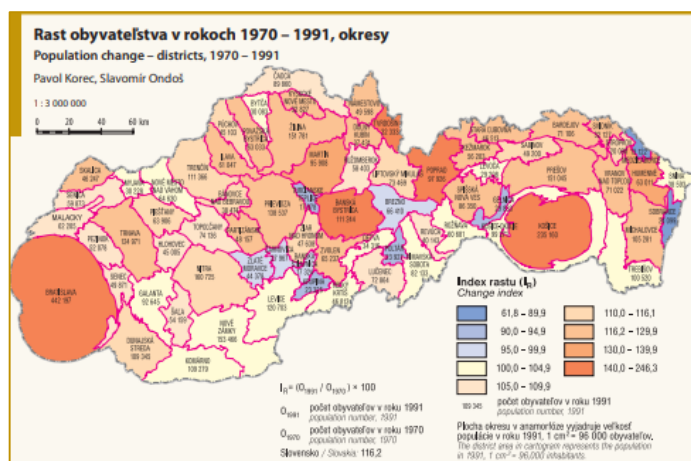


Рисунок 40 – Карта-анаморфоза изменения населения Словакии

Многообразие карт вызывает необходимость их **классификации**, т. е. деления карт на однородные группы по тем или иным признакам.

Классификации карт обеспечивают удобство инвентаризации и хранения карт, облегчают составление списков и каталогов карт, что упрощает

потребителю поиск нужной карты. Классификации карт лежат в основе создаваемых в настоящее время *банков картографических данных и картографических информационно-справочных систем*.

Классификации карт осуществляются по следующим признакам: *территориальному охвату, масштабу, проекциям, тематике (содержанию), назначению, степени обобщённости, способу (характеру) использования, времени создания, языку, формату, виду носителя и т. п.*

1.12. Современное состояние и перспективы развития картографии

Картография – это не «застывший монолит», а динамично развивающаяся наука и технология, оперативно реагирующая на вызовы эпохи и решающая задачи, возникающие перед экономикой и обществом. В последние десятилетия произошёл стремительный прогресс картографии и смежных с ней дисциплин, которые привели к появлению новых методов, технологий, направлений картографирования и к созданию новых типов картографических произведений. Сегодня картографию трудно представить без тесного взаимодействия с *дистанционным зондированием Земли (ДЗЗ), геоинформатикой и телекоммуникацией*.

Картография, благодаря активной *автоматизации и компьютеризации картографического производства* стала держательницей и распорядительницей огромных массивов информации о важнейших аспектах существования, взаимодействия и функционирования природы и общества. *Информатизация* проникла во все сферы науки и практики – от школьного образования до государственной политики. Электронные карты и атласы, анимации, трёхмерные картографические модели и другие геоизображения стали привычными средствами исследования для географов.

На базе информационных технологий созданы *географические информационные системы (ГИС)* – особые аппаратно-программные человеко-машинные (человекоориентированные) комплексы, обеспечивающие сбор, хранение, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных. Основной целью ГИС является – создание и использование *компьютерной (электронной) картографической продукции* (карт, атласов и других картографических произведений). Ныне в картографии главенствуют технологии геоинформационного картографирования, создаются картографические информационные системы разного ранга и назначения.

Диалектика развития картографии с появлением новых информационных технологий такова, что возникающая интегральная система наук постепенно превращается в обновлённую *«большую картографию»*, которая включает себя многие смежные разделы науки, подобно тому, как крупная агломерация городов поглощает города-спутники и пригороды, существуя далее как сложное единое целое.

1.13. Понятие о дистанционных методах исследования

В географии, кроме методов исследования, непосредственно контактирующих с объектом исследования в ходе выполнения исследовательских действий, существуют методы, позволяющие их изучать на расстоянии, на некотором отдалении от них, то есть, на определённой дистанции. Поэтому эти методы так и называются – *дистанционные*. Иными словами, ***дистанционные методы исследования*** – методы, которые позволяют изучать объекты географической реальности на расстоянии от них без непосредственного контакта с ними с целью извлечения максимально возможного комплекса информации о нём.

Физической основой дистанционного исследования Земли является ***электромагнитное излучение***, под которым понимается распространяющееся в пространстве возмущение электрических и магнитных полей. Электромагнитное излучение проявляется по-разному: и как волна, и как поток заряженных частиц. Следовательно, мы его воспринимаем и как свет, который видим, и как тепло, которое ощущаем, и как радиоволны, которые принимают радио- и телевизионные детекторы. Скорость распространения электромагнитного излучения равна скорости света $c_0 = 2,998 \cdot 10^8$ м/с.

Электромагнитное излучение характеризуется двумя важнейшими взаимосвязанными величинами – длиной волны и частотой. ***Длина волны*** – это расстояние между двумя последовательными волновыми гребнями. Длины волны в диапазоне, используемом для дистанционного зондирования, обычно измеряются в нанометрах (нм, 10^{-9} м), в микрометрах (мкм, 10^{-6} м) или в сантиметрах (см, 10^{-2} м). Под ***частотой*** понимается количество гребней электромагнитных волн, генерируемых за единицу времени.

Сочетание всех возможных длин волн называется ***электромагнитным спектром***. В нём выделяются следующие их диапазоны:

0,25–0,4 мкм – *ультрафиолетовый диапазон*;
0,4–0,7 мкм – *видимый диапазон*;
0,7–1,3 мкм – *ближний инфракрасный диапазон*;
1,3–3,0 мкм – *средний инфракрасный диапазон*;
3,0–1 000 мкм – *дальний, или тепловой инфракрасный диапазон*;
1 000 мкм – 1 м – *миллиметровый и микроволновый участки радиодиапазона*.

Далеко не все диапазоны длин волн воспринимаются человеческими органами чувств. Для регистрации электромагнитного излучения в большинстве диапазонов необходимы специальные приборы, имеющие датчики, чувствительные к тому или иному диапазону, что даёт возможность в его пределах наблюдать географические объекты, изучать их скрытые свойства.

Таким образом, под ***дистанционным зондированием Земли (ДЗЗ)*** понимается наблюдение и измерение параметров электромагнитного излучения географической оболочки в различных спектральных зонах с целью идентификации её объектов, определения их местоположения, выяснения

их свойств и изучения их динамики без непосредственного контакта с ними измерительной аппаратуры.

1.13.1. Классификация дистанционных методов исследования

Методы ДЗЗ. По отношению к источнику энергии все дистанционные методы можно разделить на *пассивные* и *активные*. При использовании **активных методов** спутник излучает на Землю сигнал, сгенерированный собственным источником энергии (лидаром, радиопередатчиком и т. д.) и регистрирует его отражение. Чаще всего используются **пассивные методы** дистанционного зондирования, которые основаны на регистрации отражённой от поверхности объектов солнечной энергии или на регистрации собственного электромагнитного излучения участков поверхности (рисунок 41).

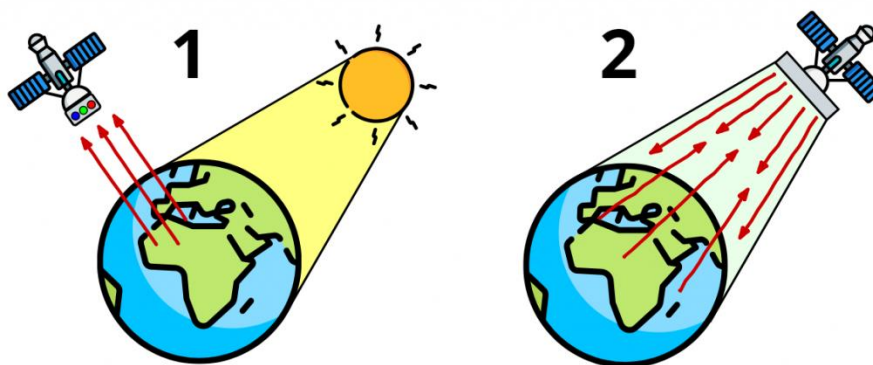


Рисунок 41 – Схема выполнения дистанционных съёмок активными (2) и пассивными методами (1)

Носители аппаратуры ДЗЗ. Носители съёмочной аппаратуры служат для её транспортировки к месту съёмок, перемещения по трассе съёмки, для её ориентации и стабилизации в пространстве. Существуют две большие группы носителей съёмочной аппаратуры: **воздушные (авиационные, аэро-)** и **космические**.

К первым относят *аэростаты, самолёты, дирижабли, вертолёт, беспилотные летательные аппараты (БЛА)* и др.

Ко второй группе относятся *космические аппараты – искусственные спутники Земли (ИСЗ), пилотируемые космические корабли и орбитальные космические станции (ОКС)*.

Следовательно, по используемым носителям съёмочной аппаратуры методы ДЗЗ разделяются на *аэросъёмочные* и *космические*.

В первом случае в качестве носителей используются самые разнообразные авиационные летательные аппараты. Съёмка обычно выполняется в достаточно большом диапазоне высот от земной поверхности – от 5 до 20 000 м (таблица 6). От высоты съёмки меняется и масштаб получаемых изображений. Как видно из таблицы 6 он будет изменяться пропорционально высоте съёмки в пределах от 1:100 до 1:20 000.

Таблица 6 – Влияние высоты проведения аэросъёмки на выбор аппарата-носителя и масштаб выходной продукции.

Высота съёмки, м	Летательный аппарат-носитель	Масштаб съёмки
5 – 100	привязные аэростаты, вертолёты, малые беспилотные летательные аппараты	1:100 – 1:1 000
100 – 10 000	самолёты, вертолёты, дирижабли, средние и крупные беспилотные летательные аппараты	1:1 000 – 1:50 000
10 000 – 20 000	высотные самолёты, высотные аэростаты	1:50 000 – 1:200 000

Воздушную съёмку производят, как правило, с самолётов, хотя возможно применение других летательных аппаратов: воздушных «змеев» большой грузоподъёмности, воздушных шаров, дирижаблей, привязных аэростатов. Для крупномасштабной съёмки используются двухмоторные самолёты – ИЛ-14, АН-24; самолёт АН-2 – одномоторный самолёт, отличающийся большой манёвренностью.

Однако в последнее время для этих целей широко начала использоваться так называемая *малая авиация*.

Для визуальных наблюдений, а также выборочных съёмок в крупных масштабах небольших участков широкое применение находят вертолёты МИ-4, Ка-18 и др. Для средней и мелкомасштабной съёмок используются самолёты ИЛ-18, АН-30, ТУ-134 с большой грузоподъёмностью и высотой полёта.

В последнее время в мире растёт производство *беспилотных летательных аппаратов*, которые на порядок дешевле пилотируемых самолётов, так как их не нужно оснащать системами жизнеобеспечения и защиты и они хорошо зарекомендовали себя при выполнении крупномасштабных аэрофотосъёмок небольших по площади территорий.

Под **беспилотным летательным аппаратом (БЛА)** понимается воздушное судно, которое работает без человека-пилота и экипажа на борту, способное к длительному полёту при использовании аэродинамических средств, отдалённо ведётся или автоматически управляется предварительно запрограммированным профилем полёта, может повторно использоваться. На сегодняшний день на рынке представлено множество моделей БЛА, различающихся по своей конструкции, техническим характеристикам, назначению и цене.

Превосходством БЛА перед пилотируемыми воздушными судами является, прежде всего, стоимость производства работ, а также значительное уменьшение количества регламентных операций. Само отсутствие человека на борту самолёта значительно упрощает подготовительные мероприятия для проведения аэрофотосъёмочных работ.

Понятие аэрофотосъёмки (АФС). *Аэрофотографическая съёмка* используется при топографическом и тематическом картографировании местности в масштабах от 1: 100 000 до 1: 500. Фотографирование в этом случае производится *аэрофотоаппаратом (АФА)*, установленным на самолёте, вертолёте или другом носителе.

АФС можно классифицировать по количеству и расположению аэрофотоснимков (одинарная, маршрутная и площадная), положению оптической оси аэрофотоаппарата (плановая и перспективная) и масштабу фотографирования (крупномасштабная – 1: 10 000 и крупнее, среднемасштабная и мелкомасштабная – 1: 35 000 и мельче).

Одинарная АФС – фотографирование отдельных сравнительно небольших участков земной поверхности, когда аэрофотоснимки не перекрываются.

Маршрутная АФС – такое фотографирование полосы местности, при котором смежные аэрофотоснимки взаимно связаны заданным продольным перекрытием P (рисунок 42). Причём величина его достигает 60 и более процентов, поэтому возникают и зоны тройного перекрытия, что очень важно при фотограмметрической обработке снимков. Маршрутная АФС может быть *прямолинейной, ломаной и криволинейной*.

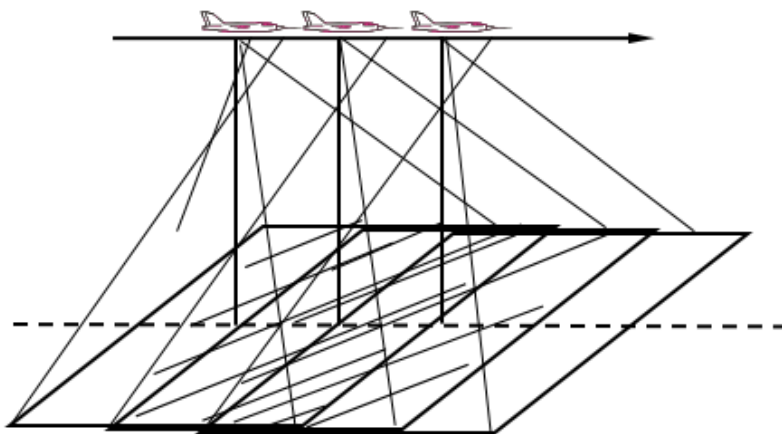


Рисунок 42 – Маршрутная аэрофотосъёмка

Площадная (многомаршрутная) АФС – фотографирование участка земной поверхности, который не захватить одним маршрутом. В этом случае прокладываются несколько параллельных между собой аэрофотосъёмочных маршрутов (рисунок 43). При этом смежные маршруты перекрываются. Называют общую часть изображений на снимках поперечным перекрытием Q .

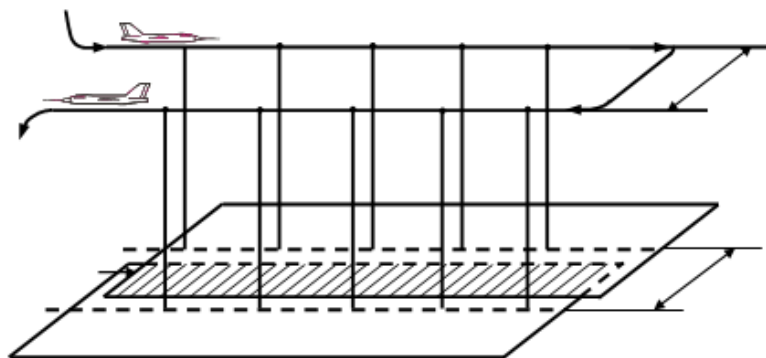


Рисунок 43 – Площадная аэрофотосъёмка

Плановой называют аэрофотосъёмку, при которой стараются получать горизонтальные снимки, но получают наклонные с отклонением оптической оси АФА от вертикали не более 3° . **Перспективной** считают АФС при наклоне оптической оси на заданный и сравнительно больший угол.

Основным видом аэрофотосъёмки является плановая АФС. Она производится в различных масштабах m , которые зависят от высоты фотографирования H и фокусного расстояния f АФА, в частности:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}$$

При получении снимков с поверхности земли в топографических целях местность фотографируют с разных точек пространства, но так, чтобы смежные снимки перекрывали друг друга. Оптические оси фототеодолита устанавливают при этом, как правило, горизонтально.

Аэрофотосъёмка также подразделяется по назначению, масштабу, углу наклона главной оптической оси АФА, по способу построения изображения:

По назначению: *топографическая* (планы, карты); *специальная*.

По масштабу фотографирования: *мелкомасштабная* ($< 1:50\,000$); *среднемасштабная* ($1:50\,000 - 1:10\,000$); *крупномасштабная* ($> 1:10\,000$).

По углу наклона оптической оси аэрофотоаппарата (АФА): *плановая* ($\alpha \leq 3^\circ$); *перспективная* ($\alpha > 3^\circ$).

По способу построения изображения (конструктивным особенностям АФА):

- *кадровая*, при которой фотоплёнка экспонируется с помощью затвора, открывающегося через заданный промежуток времени, с получением серии отдельных кадров (аэрофотоснимков) определённого размера. Интервал открытия затвора АФА назначают в зависимости от высоты и скорости полёта летательного аппарата при условии обеспечения не менее 60 % взаимного продольного перекрытия и от 20 до 60 % поперечного перекрытия аэрофотоснимков;

- *щелевая*, при которой непрерывно передвигающаяся фотоплёнка экспонируется через постоянно открытую щель, расположенную в фокальной

плоскости объектива специального АФА и перпендикулярную направлению полёта. Регулирование экспозиции фотоплёнки осуществляют изменением ширины щели и диафрагмированием. Таким образом щелевой аэрофотоснимок представляется в виде сплошной ленты вдоль маршрута, в которой вдоль маршрута образуется ортогональная, а поперёк – центральная проекции. Скорость перемещения фотоплёнки устанавливают в зависимости от скорости и высоты полёта;

- *панорамная*, при которой экспонирование фотоплёнки осуществляется движением элементов оптической системы специального АФА поперёк направления полёта. При этом получают прямоугольные аэрофотоснимки с большим поперечным углом поля зрения и высокими изобразительными свойствами по всему полю снимка.

При **космических съёмках** в качестве носителей используют *космические летательные аппараты (КЛА)*: орбитальные самолёты, искусственные спутники Земли, пилотируемые космические корабли, орбитальные космические станции. Съёмка ведётся с высоты 100 – 30 000 и более км. Получаемые материалы будут преимущественно мелкомасштабными (1:1 000 000 – 1:200 000 000).

В космической съёмке лидерами среди космических аппаратов являются *искусственные спутники Земли*. К ним принято относить, главным образом, автоматические беспилотные космические аппараты, не предназначенные для работы на них человека-космонавта.

Искусственные спутники Земли различаются по своему назначению: исследовательские, спутники связи, метеорологические, навигационные (GPS, ГЛОНАСС), спутники для мониторинга поверхности и разведки – это может быть оптическое наблюдение, фотографирование, контроль за стартом ракет, большими взрывами, массовыми загрязнениями, пожарами, температурными потоками в морях и океанах и пр.

Спутники классифицируются по назначению, техническим и орбитальным характеристикам, конструктивным особенностям и др. Число этих классификаций сегодня велико.

Виды дистанционных съёмок в зависимости от спектрального диапазона. По используемым зонам электромагнитного спектра выделяют следующие виды съёмки: *радиолокационную, инфракрасную, фотографическую в видимом диапазоне спектра* и др.

Радиолокационная съёмка выполняется радаром в диапазоне от 1 000 мкм до нескольких метров. Соответственно внутри него выделяется *миллиметровый, сантиметровый и метровый поддиапазоны* (таблицу 7). В таблице 7 цветом выделен тот участок спектра, в котором чаще всего выполняют радиолокационное зондирование Земли.

Таблица 7 – Характеристика спектральных диапазонов, используемых для выполнения радиолокационных съёмок Земли.

Диапазон частот	Сокращённое название поддиапазона	Название поддиапазона длин волн	Длина волны
30–3 000 МГц	УКВ (Ультракороткие волны)	метровые	0,1–10 м
3–30 ГГц	СВЧ (Сверхвысокие частоты)	сантиметровые	1–10 см
30–300 ГГц	КВЧ (Крайне высокие частоты)	миллиметровые	1–10 мм

Таким образом, радиолокационная съёмка выполняется в радиодиапазоне электромагнитного спектра с длинами волн от 1 мм до 1 м. Наиболее часто используемые для этого участки спектра принято классифицировать и обозначать следующим образом (таблица 8).

Таблица 8 – Классификация наиболее часто используемых в ДЗЗ участков спектра в радиодиапазоне.

Диапазон	Длина волны, см	Частота, ГГц
X	2,4–3,8	12,5–8,0
C	3,8–7,5	8,0–4,0
S	7,5–15,0	4,0–2,0
L	15,0–30,0	2,0–1,0
P	30,0–100,0	1,0–0,3

Диапазоны X, C, S и L используются для получения данных как с радиолокаторов авиационного, так и космического базирования, в то время как диапазон P применяется только для зондирования с воздуха.

Одно из основных преимуществ радиолокационной съёмки – способность проникать через облачный покров – во многом зависит от длины волны. Так, сигнал с длиной волны от 2 см гарантированно проникает через облачность, а при длине волны 3–4 см и больше позволяет выполнять съёмку при наличии осадков. Длина волны также существенно влияет на характеристики обратного рассеяния радиосигнала от подстилающей поверхности. Так, применение диапазонов с относительно длинными волнами (L-диапазон) обеспечивает проникновение радиоволн через снежный и растительный покровы и, при определённых условиях, через песок и почву. Более короткие волны (C- и X-диапазоны) позволяют достигать высокого пространственного разрешения и определять границы небольших объектов на местности, однако излучение в этих диапазонах сильнее взаимодействует с растительным покровом и почвой.

Основное преимущество радиолокационной съёмки – её всепогодность и высокая проникающая способность радиоволн.

Основными областями её применения являются геоботанические и гляциологические исследования, геологическая и геофизическая разведка, изучение и моделирование рельефа.

Инфракрасная съёмка местности выполняется в невидимых человеческому глазу длинах волн от 0,3 до 15 мкм. Различают *оптическую (фотографическую) инфракрасную съёмку в ближней инфракрасной зоне спектра (0,8–1,1 мкм)*, и *фотоэлектронную инфракрасную съёмку в дальней инфракрасной зоне (1,2–2,3 мкм)*, рабочие интервалы 2–5, 8–10 и 14–15 мкм), выполняемую при помощи специальных съёмочных камер, регистрирующих тепловые излучения земной поверхности и преобразующих их в световые изображения, которые автоматически переснимаются с экрана электроннолучевой трубки на фотоплёнку. При обоих видах инфракрасной съёмки получают чёрно-белые аэрофотоснимки, внешне подобные обычным фотографиям, полученным в видимых лучах.

Фотографические инфракрасные снимки из-за особенностей спектрального отражения объектов в данной зоне эффективны для воспроизведения береговых линий и заболоченности, состава смешанных лесов и посевов, определения местных предметов по фотоизображению их теней. Фотоэлектронные инфракрасные снимки дают существенный эффект при съёмке вулканических и гидротермальных явлений, подземных и лесных пожаров; перспективны для изучения льдов и водных масс (с разделением по температурным характеристикам, загрязнённости и т. д.); дешифрирование горных пород, гидрографические сети под древесно-кустарниковым пологом, а также зданий, трубопроводов и других инженерных сооружений, различающихся между собой по тепловым свойствам.

Фотографическая съёмка – самый древний и самый распространённый вид дистанционных съёмок. Выполняется в *видимом диапазоне спектра (0,4–0,7 мкм)*. Фотографирование выполняется специальными фотокамерами, к которым предъявляются повышенные требования к конструкции, оптической схеме, а в цифровых камерах – и к светочувствительным сенсорам, для обеспечения фотографического изображения надлежащего качества. Получаемые изображения называются *аэро- или космофотоснимками*.

По использованию различных зон спектра электромагнитных волн фотографическая съёмка бывает *чёрно-белая (панхроматическая), цветная, спектральная*.

Спектральная съёмка предусматривает фотографирование местности не в полном видимом спектре одновременно, а только в нескольких отдельных его зонах. Данный вид фотосъёмки более эффективен, поскольку отражательная способность наземных природных и искусственных объектов изменяется в зависимости от длины волны, причём эта закономерность проявляется в качественном и количественном отношении по-разному для различных объектов. В силу этого часть последних может быть зафиксирована на снимке с требуемым утрированным контрастом при фотографировании в одном диапазоне световых лучей, часть – в другом и т. д.

Многозональная съёмка выполняется синхронно тремя или более фотокамерами (или одной многообъективной) на нескольких сенсорах, чувствительных к излучению *в разных зонах спектра*. Таким образом обеспечивается изготовление набора сопоставимых снимков, содержащих в совокупности наибольшую информацию с заснятой местности.

Виды дистанционных съёмок в зависимости от технологии получения данных ДЗЗ. По технологии получения изображения дистанционные съёмки делятся на *кадровые* (для фотографической съёмки в видимом и инфракрасном диапазоне), *сканерные, телевизионные, лазерные (лидарные)*.

Для **кадровой съёмки** используются аэро- и космические фотоаппараты. Изображение формируется на специальной фотоплёнке или на светочувствительной матрице. Каждый такой одномоментный кадровый снимок ограничен размерами кадрирующей рамки фотоаппарата.

При **сканерной съёмке** изображение формируется из отдельных полос (сканов), которые в свою очередь состоят из отдельных элементов (пикселей). Яркость объектов в пределах пикселей изображения усредняется и детали не различаются. По своим изобразительным и геометрическим свойствам сканерный снимок уступает фотографическому кадровому.

Телевизионная съёмка ведётся в видимом диапазоне (0,4–1,1 мкм). Сущность телевизионной съёмки заключается в том, что оптическое изображение местности преобразуется в электрический видеосигнал. Радикальное отличие телевизионной камеры от фотографической заключается в том, что изображение проектируется на светочувствительный экран, на котором изображение преобразуется в электронный *видеосигнал*.

Лазерная (лидарная) съёмка – ещё один специфический вид нефотографических съёмок, в результате которой мы получаем не снимок местности, а облако точек, из которое эту местность моделирует. Процесс съёмки напоминает лазерное измерение расстояний: посланный сигнал отражается от объекта и возвращается на приёмник.

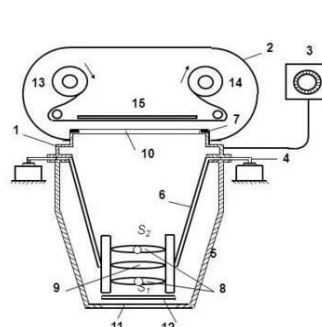
Системы лазерного сканирования называются *лидарами* (от англ. «LIDAR» – Light Detection and Ranging) и работают по принципу получения непрерывно серии точек, формирующих полосы. В основном это аппараты сканерного типа, в которых лазерный луч в пределах одной полосы отклоняется зеркалом или призмой, а набор полос получается вследствие движения носителя.

Съёмочная аппаратура ДЗЗ. Для дистанционного изучения земной поверхности используется достаточно широкий набор технических средств.

Для выполнения *фотографической съёмки* используют **аэрофотоаппараты (АФА)** и **космические фотоаппараты (КФА)**. Они представляет собой оптико-электромеханическое устройство, предназначенное для фотографирования земной поверхности с борта воздушного судна или космического аппарата в целях получения её фотографического изображения, пригодного для научных и прикладных целей. Они бывают разных конструктивных типов в зависимости от назначения и условий съёмки (рисунок 44).



Схема устройства АФА



1. Фотокамера
2. Фотокассета
3. Командный прибор
4. Крепления
5. Корпус
6. Объективный блок
7. Прикладная рамка
8. Объектив
9. Центральный затвор
10. Прижимное стекло
11. Защитное стекло
12. Светофильтры
13. Смотывающая катушка
14. Наматывающая катушка
15. Пружинный столик

Рисунок 44 – Аэрофотоаппарат (АФА) и схема его устройства

Телевизионная съёмка выполняется с помощью **телевизионных приёмников**, которые относятся к оптико-электронным системам дистанционного зондирования Земли. Телевизионные камеры состоят из объектива, фокусирующего изображение на светочувствительную поверхность (ПЗС-сенсор или электронно-лучевая трубка), блоков считывания информации и формирования сигнала для передачи на Землю.

В телевизионных камерах используются два вида передающих устройств: *диссекторные* и *видиконовые*. Первые оснащены широкоугольным объективом, что позволяет охватить значительные по площади территории. Светочувствительным элементом в них служит фотокатод, работа которого основана на внешнем фотоэффекте. Более широкое применение при дистанционном зондировании получили телевизионные камеры с видиконовыми передающими трубками, где в качестве светочувствительного экрана используется полупроводниковый фотоэлемент, работа которого основана на внутреннем фотоэффекте (рисунок 45).

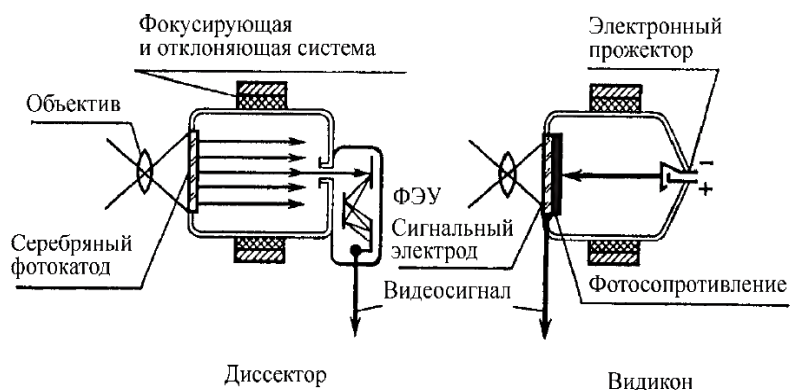


Рисунок 45 – Схема работы разных видов телевизионных приёмников

При *сканерной съёмке* происходит просмотр (сканирование) земной поверхности полем зрения съёмочной системы. Оно может осуществляться вращением всего космического аппарата или вращением корпуса всей оптической системы относительно космического аппарата. Однако наибольшее распространение в сканирующих системах получили оптические схемы при неподвижных корпусах спутника и сканера. В этом случае сканирование осуществляется движением головного зеркала, например, плоского зеркала, расположенного под углом 45° к оси вращения двигателя.

Частота вращения или колебания выбираются с таким расчётом, чтобы обеспечить просмотр местности без пропусков между строками и без наложения строки на строку.

Приёмник в аппаратуре преобразует излучение элементов ландшафтов в электрические сигналы строка за строкой непрерывно в процессе движения, т. е. изображение получается за счёт комбинации двух движений во взаимно перпендикулярных направлениях – движения спутника по орбите и поперечного механического сканирования (рисунок 46).

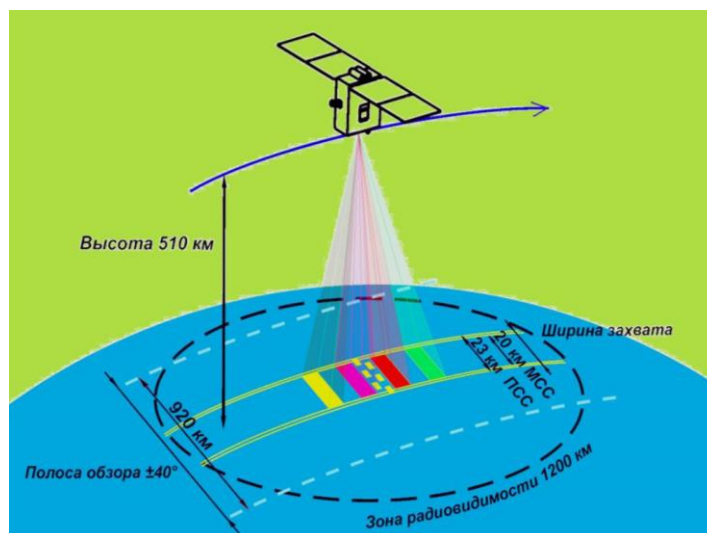


Рисунок 46 – Схема выполнения сканерной съёмки с космического аппарата

Инфракрасная съёмка выполняется с использованием инфракрасных сканирующих радиометров, однако различаются диапазоном спектра, в которых они проводятся. Как говорилось выше, различают *инфракрасную оптическую* и *инфракрасную тепловую съёмки*.

Инфракрасная оптическая съёмка ведётся в длинноволновой зоне оптической части спектра с длиной волн в пределах от 0,76 до 1,75 мкм. В этих системах в качестве приёмников применяются *фотонные детекторы*, чаще кремниевые (0,4–1,1 мкм) и германиевые (1,1–1,75 мкм). Источником инфракрасного излучения является земная поверхность, нагретая Солнцем, внутренним теплом Земли или искусственными источниками тепла. Сканерные инфракрасные снимки используются при изучении влажности почвогрунтов и видового состава растительности.

Для *тепловой инфракрасной съёмки* используются специальные сканирующие радиометры или же оптико-механические сканеры, которые в отдельных каналах ведут тепловую съёмку. В качестве приёмников инфракрасного теплового излучения используются фотонные детекторы. Принцип работы которых основан на фотографическом эффекте (фотодиоды) и явлении фотопроводимости (фоторезисторы) в твёрдых телах. Следует отметить, что максимально достигаемая разрешающая способность по спектру зависит от степени охлаждения детектора.

Радарные методы основаны на использовании отражённых от земных объектов волн в микроволновом диапазоне (от 1 мм до 1 м) и принадлежат к активным методам формирования образа. *Антенна радара* высылает электромагнитный импульс, который принимается той же самой или другой антенной, что зависит от физических принципов, заложенных в конструкцию прибора.

Для формирования образа используют *радары бокового обзора*. Среди них выделяют две группы:

- *радар бокового обзора с реальной антенной* (RAR – Real Aperture Radar);
- *радар бокового обзора с синтезированной антенной* (SAR – Synthetic Aperture Radar).

Радар типа RAR состоит из передатчика, приёмника, приёмно-передающей антенны, преобразователя и регистратора. Передатчик излучает в сторону короткий мощный импульс в границах плоской полосы широкого охвата в направлении перпендикулярном направлению полёта и имеет охват в направлении полёта.

SAR имеет более короткую антенну, через которую через определённый интервал высылаются импульсы. Антенна развёрнута в азимутальном направлении и импульсы настолько часты, что каждый элемент местности облучается многократно. Отражённые сигналы обрабатывают на основе эффекта Доплера и подсчитываются с разных положений антенны. Поэтому такая суммарная антенна имеет как бы длину в несколько сотен метров.

1.13.2. Применение методов дистанционного зондирования при картографировании Земной поверхности

Методы дистанционного зондирования нашли широкое применение в различных направлениях исследования географической оболочки и разнообразных сферах прикладной человеческой деятельности. Можно выделить следующие основные отрасли, где данные дистанционного зондирования нашли широкое применение:

- сельское хозяйство;
- лесное хозяйство;
- климатология и контроль глобальных атмосферных изменений;
- разведка и добыча полезных ископаемых;
- землеустройство;
- исследования Мирового океана;

- контроль состояния водных ресурсов;
- мониторинг чрезвычайных ситуаций;
- военная разведка и корректировка боевых действий.

В каждой из них решается свой спектр научных и прикладных задач, которые требуют картографического обеспечения на основе материалов дистанционного зондирования.

Однако преобразование снимков в карты порождает множество географических и технических проблем, совокупность которых заставляет выработать требования к ним, разрабатывать оптимальную методику дешифрирования, исследовать процесс генерализации при переходе от снимков к картам, решать технические задачи картографирования по материалам съёмки, разрабатывать технологию создания различных по содержанию, назначению и масштабу географических карт.

Решение этих проблем обеспечит переход от одной модели местности – *снимка* к другой модели – *карте*. Снимки и карты объединяют то обстоятельство, что те и другие являются моделями местности, относящимися к одному типу. И те, и другие – это *двухмерные модели изображения Земной поверхности*.

Вместе с тем между снимками и картами есть существенные различия. Изображения на снимках и изображения на картах существенно различаются геометрически. На снимках присутствует множество внутренних геометрических искажений, не свойственных картам, которые устраняются ортогональным преобразованием и трансформированием снимка.

Карты являются не только средством исследования, но и формой реализации знаний об объекте исследования на данном этапе. Картой завершаются географические исследования. Снимки же являются первичным материалом. Знания об объекте, изображённом на снимке, в очень малой степени влияют на формирование изображения. Снимок фиксирует объект так, как видит его камера. Конечно, можно более или менее обоснованно выбрать масштаб, способ, зону спектра съёмки и т. д., но на снимках будет запечатлён некоторый случайный вид объекта. Поэтому аэрокосмические снимки могут быть источником знаний об объекте исследования, могут иллюстрировать знания о нём, но не могут быть конечным, концентрированным и целенаправленно сформированным отображением знаний об объекте исследования, как это свойственно карте.

Особенность картографического изображения заключается в её большей или меньшей условности. Язык карты – *картографические условные знаки* – менее нагляден, но зато более выразителен. При картографировании не просто перерисовывается условными знаками изображение на снимке, но классифицируются явления и объекты, и на этой основе отбираются их свойства и обобщаются очертания, т. е. производится *генерализация*. Фактическое содержание снимков подвергается как бы фильтрации и преобразуется в иную запись.

На карте чаще всего передаются не столько сами объекты местности, сколько их *свойства*, скрытые от непосредственного наблюдения и существенно обобщённые в пространстве и времени (рисунок 47).

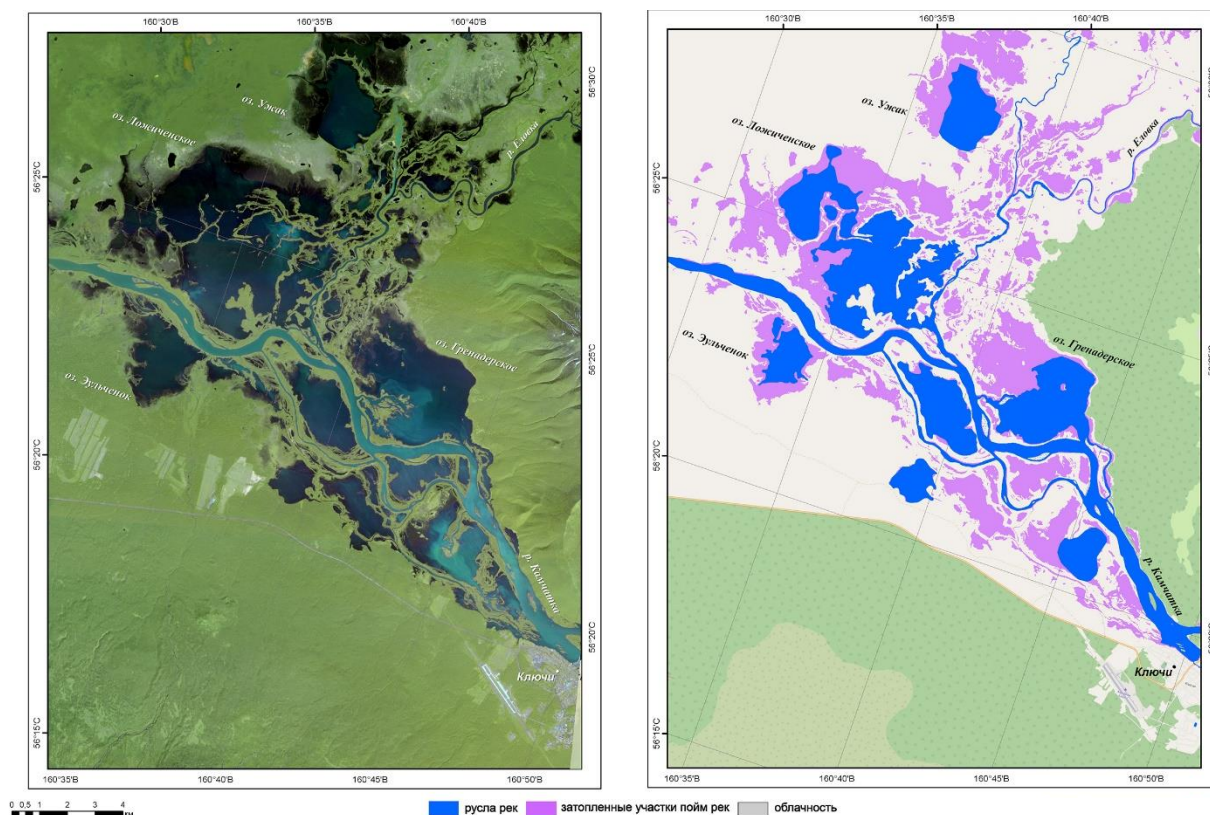


Рисунок 47 – Составление тематической карты на основе данных ДЗЗ
(на примере карты зон затоплений)

В составлении карт с переходом к дистанционным методам изменилось содержание теоретических основ картографии, изменились соответственно производственные процессы. Но роль карты не только сохранилась, но и повысилась, так как карты стали более надёжными, точными и оперативными.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Знакомство с Adobe Illustrator. Рабочее пространство. Интерфейс и настройки. Форматы. Кривая Безье

Цель лабораторной работы – ознакомиться с интерфейсом программы Adobe Illustrator, основными меню, окнами, инструментами, создать рабочее пространство (рабочую среду), научиться выполнять векторизацию линейных объектов с помощью инструмента «Перо».

Лабораторная работа 1 включает следующие задания:

1. Знакомство с программой векторной графики Adobe Illustrator.
2. Знакомство с интерфейсом программы
3. Настройка рабочего пространства.
4. Изучение основных форматов графических изображений (растровых и векторных).
5. Изучение основных инструментов.
6. Работа с инструментом «Перо» (Кривая Безье) – векторизация линейных объектов.
7. Сохранение проекта в формате AI и экспорт результатов работы в растровый формат JPEG.

2.2. Работа с фигурами

Цель лабораторной работы – приобрести навыки создания векторных объектов из геометрических фигур с использованием инструментов Adobe Illustrator (на примере создания условных знаков топографических карт).

Лабораторная работа 2 включает следующие задания:

1. Создание рабочего документа в Adobe Illustrator.
2. Добавление исходного изображения.
3. Настройка параметров рабочей среды.
4. Создание условных знаков с помощью фигур:
 - 1) создание условного знака «Леса»;
 - 2) создание условного знака «Редкие леса (редколесье)»;
 - 3) создание условного знака «Группы кустарников»;
 - 4) создание условного знака «Торфоразработка»;
 - 5) создание условного знака «Полигоны»;
 - 6) создание условного знака «Пункты государственной геодезической сети» и «Пункты геодезических сетей сгущения»;
 - 7) создание условного знака «Маяки» и «Огни (светящиеся береговые навигационные знаки)».
5. Сохранение проекта в векторном формате AI и экспорт результатов работы в растровый формат JPEG.

2.3. Цветовые модели, прозрачность и режим наложения, каталоги цветов

Цель лабораторной работы – приобрести навыки работы с цветом, прозрачностью, инструментами «Пипетка», «Быстрая заливка», а также режимом наложения цветов в программе Adobe Illustrator (на примере оформления тематического содержания карт).

Лабораторная работа 3–4 включает следующие задания:

1. Создание рабочего документа в Adobe Illustrator.
2. Добавление исходного изображения.
3. Настройка параметров рабочей среды.
4. Работа с цветовой моделью CMYK.
5. Изображение рельефа местности на карте гипсометрическим способом (послойной окраски ступеней высот).
6. Разработка цветовой шкалы для отображения на карте населения области по районам (способом картограммы).
7. Работа в режиме наложения. Быстрая заливка. Каталоги цветов.
8. Сохранение проекта в векторном формате AI и экспорт результатов работы в растровый формат JPEG.

2.4. Шрифты и надписи на карте

Цель лабораторной работы – приобрести навыки работы с текстом в программе Adobe Illustrator (на примере создания, размещения и оформления надписей на карте макрорегионов Европы).

Лабораторная работа 5 включает следующие задания:

1. Создание рабочего документа в Adobe Illustrator.
2. Добавление исходного изображения.
3. Настройка параметров рабочей среды.
4. Создание, оформление и размещение надписей государств на карте.
5. Создание, оформление и размещение надписей морей, заливов, проливов и океана на карте.
6. Оформление текста в названии карты, легенде и подписи масштаба.
7. Преобразование текста в кривые.
8. Сохранение проекта в векторном формате AI и экспорт результатов работы в растровый формат JPEG.

2.5. Работа с контурами

Цель лабораторной работы – приобрести навыки работы с контурами в программе Adobe Illustrator (на примере создания и оформления элементов содержания легенды карты).

Лабораторная работа 6 включает следующие задания:

1. Создание рабочего документа в Adobe Illustrator.
2. Добавление исходного изображения.

3. Настройка параметров рабочей среды.
4. Создание и оформление условных обозначений для объектов гидрографии.
5. Создание и оформление условных обозначений населённых пунктов.
6. Создание и оформление условных обозначений дорог.
7. Создание и оформление условных границ.
8. Сохранение проекта в векторном формате AI и экспорт результатов работы в растровый формат JPEG.

2.6. Работа с градиентными и текстурными заливками

Цель лабораторной работы – приобрести навыки работы с градиентными и текстурными (узорными) заливками в программе Adobe Illustrator.

Лабораторная работа 7 включает следующие задания:

1. Создание рабочего документа в Adobe Illustrator.
2. Добавление исходного изображения.
3. Настройка параметров рабочей среды.
4. Градиентная заливка фигур.
5. Градиентная заливка текста.
6. Создание узора (на примере УЗ «Луговая растительность»).
7. Сохранение проекта в векторном формате AI и экспорт результатов работы в растровый формат JPEG.

2.7. Кисти и символы

Цель лабораторной работы – приобрести навыки работы с инструментом «Кисть» и библиотекой «Символы» с целью создания и оформления картографических условных знаков в программе Adobe Illustrator.

Лабораторная работа 8 включает следующие задания:

1. Создание рабочего документа в Adobe Illustrator.
2. Добавление исходного изображения.
3. Настройка параметров рабочей среды.
4. Применение кистей.
5. Создание кистей.
6. Применение и редактирование символов.
7. Сохранение проекта в векторном формате AI и экспорт результатов работы в растровый формат JPEG.

2.8. Определение номенклатуры отдельных листов топографических карт

Цель лабораторной работы – закрепить навыки определения номенклатуры отдельных листов топографических карт (с использованием бланковой карты Республики Беларусь).

Лабораторная работа 8 включает следующие задания:

1. Изучение схемы разграфки и номенклатуры листа топографической карты масштаба 1:1 000 000.
2. Изучение схемы разграфки и номенклатуры листа топографической карты масштаба 1:100 000.
3. Определение номенклатуры отдельных листов топографических карт (с использованием бланковой карты Республики Беларусь) на примере масштабов 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000 и 1:10 000.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1. Темы рефератов

1. Градусные измерения дуг меридианов и параллелей для определения параметров земного эллипсоида. Перуанская экспедиция.
2. Градусные измерения дуг меридианов и параллелей для определения параметров земного эллипсоида. Лапландская экспедиция.
3. Градусные измерения дуг меридианов и параллелей для определения параметров земного эллипсоида. Ганноверская триангуляция.
4. Градусные измерения дуг меридианов и параллелей для определения параметров земного эллипсоида. Дуга Струве.
5. Градусные измерения дуг меридианов и параллелей для определения параметров земного эллипсоида. Центральноевропейская дуга 52° с. ш.
6. Вклад В. Я. Струве в развитие геодезии.
7. Вклад К. И. Теннера в развитие геодезии.
8. Вклад И. И. Ходзько в развитие геодезии.
9. Вклад И. И. Жилинского в развитие геодезии.
10. Вклад М. П. Вронченко в развитие геодезии.
11. Вклад К. И. Теннера в развитие геодезии.
12. Вклад Э. А. Коверского в развитие геодезии.
13. Вклад Ф. Н. Красовский в развитие геодезии.
14. Вклад В. В. Попова в развитие геодезии.
15. Кронштадтский футшток.
16. Балтийская система государственных высот.
17. Национальные системы отсчёта высот, принятые в Европе.
18. История установления нулевого меридиана.
19. Современная структура плановой государственной геодезической сети Республики Беларусь.
20. Высотная государственная геодезическая сеть Республики Беларусь.
21. Гравиметрическая государственная геодезическая сеть Республики Беларусь.
22. Глобальная навигационная спутниковая система GPS.
23. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС.
24. Глобальная навигационная спутниковая система Galileo.
25. Глобальная навигационная спутниковая система Бэйдоу.
26. Общеземная геоцентрическая система координат WGS-84.
27. Общеземная геоцентрическая система координат ПЗ-90.
28. Дерптская обсерватория.
29. Пулковская обсерватория.
30. Структура Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь.

3.2. Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Законодательные акты и принципы осуществления геодезической и картографической деятельности в Республике Беларусь.
2. Структура Государственного комитета по имуществу. Предприятия, осуществляющие картографо-геодезическую деятельность.
3. Международные союзы, ассоциации и организации (комитеты), объединяющие государственные службы, занимающиеся изучением Земли с использованием геодезических, картографических и дистанционных методов.
4. История развития геодезии как науки.
5. Основные референц-эллипсоиды и их параметры.
6. Система геодезического обеспечения и способы её реализации. История развития геодезического обеспечения территории Республики Беларусь.
7. Системы отсчёта времени. Звёздные и средние солнечные сутки.
8. Всемирное время UT (Universal Time), эфемеридное, Земное динамическое, поясное и атомное время.
9. Шкала международного атомного времени TAI.
10. Отсчёт времени в глобальных навигационных спутниковых системах.
11. Перспективы развития геодезической, картографической деятельности и методов дистанционного зондирования Земли в Республике Беларусь.
12. История развития картографии как науки.
13. Элементы географической карты: картографическое содержание, математическая основа, вспомогательное оснащение, дополнительные данные.
14. Классификация географических карт по охвату территории, масштабу, назначению, принципам составления, содержанию.
15. Автоматизация процессов создания карт. Составление общегеографической карты в программе векторной графики Adobe Illustrator.
16. Геоинформационное картографирование.
17. Оперативное картографирование.
18. Понятие о дистанционных методах исследования.
19. Классификация дистанционных методов исследования.
20. Виды дистанционных съёмок.
21. Типы аэрокосмических снимков и их классификация.
22. Предмет и сущность дешифрирования. Виды дешифрирования.
23. Применение методов дистанционного зондирования при картографировании земной поверхности.
24. Понятие об аэрофотосъёмке и космической съёмке. Классификация аэрокосмических снимков.
25. Мировой фонд космических снимков.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ВВЕДЕНИЕ В КОСМОАЭРОКАРТОГРАФИЮ (46 ч.)	30			16			Экзамен
1.	Введение. Принципы осуществления геодезической и картографической деятельности в Республике Беларусь	4						Опрос
2.	История развития геодезии, картографии и дистанционных методов	6						Опрос
3.	Системы отсчёта координат, высот и времени, применяемые в геодезии	6						Опрос
4.	Земной магнетизм, магнитные полюса Земли	2						Опрос
5.	Номенклатура топографических карт	2						Опрос
5.1.	Определение номенклатуры отдельных листов топографических карт				2			Отчёт по лабораторной работе

6.	Условные знаки топографических карт и топографических планов	2			2			Опрос
7.	Понятие о глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС)	2						Опрос
8.	Географические карты. Картографические произведения	2						Опрос
9.	Современное состояние и перспективы развития картографии	2						Опрос
9.1.	Изучение инструментария программы векторной графики Adobe Illustrator				4			Отчёт по лабораторной работе
9.2.	Оцифровка линейных объектов (гидрографии, дорожной сети)				4			Отчёт по лабораторной работе
9.3.	Векторизация границ (районов, областей, государств)				4			Отчёт по лабораторной работе
9.4.	Нанесение пунсонов населённых пунктов и текста				2			Отчёт по лабораторной работе
10.	Дистанционные методы исследования Земли	2						Опрос

4.2. Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Введение в специальность «Космоаэрокартография»: учебные материалы для студентов 1 курса специалистов 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / А.П. Романкевич, В.Н. Пейхвассер, А.Р. Герман. – Минск: БГУ, 2021. – 32 с.
2. Жумарь, П.В. Современные системы дистанционного зондирования Земли: электронный учебно-методический комплекс для специальности 6-05-0532-05 «Космоаэрокартография и геодезия» / П.В. Жумарь; БГУ, фак. географии и геоинформатики, каф. геодезии и космоаэрокартографии. – Минск: БГУ, 2024. – 184 с.
3. Основы рисования в Adobe Illustrator [Электронный ресурс]. – 2025. Режим доступа: <https://helpx.adobe.com/ru/illustrator/using/drawing-basics.html>.
4. Топаз, А.А. Методы дистанционных исследований: электронный учебно-методический комплекс для специальностей: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» / А. А. Топаз; БГУ, фак. географии и геоинформатики, каф. геодезии и космоаэрокартографии. – Минск: БГУ, 2022. – 127 с.
5. Топография с основами геодезии: электронный учебно-методический комплекс с креативным компонентом для специальностей: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» / БГУ, фак. географии и геоинформатики, каф. геодезии и космоаэрокартографии; сост.: А.П. Романкевич, П.В. Жумарь, А.С. Толпинский; [под общ. ред. А.П. Романкевича]. – Минск: БГУ, 2020. – 181 с.

Дополнительная литература

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том 1. [текст] / К.М. Антонович – Научное издание – М.: Картоцентр, Новосибирск: Наука – 2005. – 334 с.
2. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том 2. [текст] / К.М. Антонович – Научное издание – М.: Картоцентр, Новосибирск: Наука – 2006. – 360 с.
3. Берлянт А.М. Картография. – М.: Аспект-Пресс, 2002. – 336 с.
4. Берлянт А.М. Картографический словарь. – М.: Научный мир, 2005. – 424 с.
5. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. – М.: Мысль, 1986. – 240 с.
6. Геодезия: учебное пособие для вузов / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – 2-е изд. – М.: Академический Проект, 2013 г. – 544 с.

7. Геометрические нивелировки Военно-топографического Отдела Главного штаба, возобновлённые в 1881 году. Записки Военно-топографического Отдела. Часть XXXVIII. – Санкт-Петербург, 1882. – С. 243–249.

8. Государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 1813-2007 Государственная гравиметрическая сеть Республики Беларусь. Основные положения. Госстандарт Минск, 2007.

9. Единая государственная система геодезических координат 1995 года (СК-95). Справочный документ. / Н.Л. Макаренко, Г.В. Демьянов, Е.В. Новиков, Б.В. Бровар, Г.Н. Ефимов, В.И. Зубинский, А.Н. Майоров, Н.Г. Назарова. Под общей редакцией А.А. Дражняка. – М. – ЦНИИГАиК. – 2000. – 34 с.

10. Записки Военно-топографического отдела Главного управления Генерального штаба. Часть VIII; (1843 г.), часть IX (1844 г.). – СПб.

11. Избранные сочинения: в 4 т. / Ф.Н. Красовский. – Москва: Геодезиздат, 1953–1956. – Т. 2. – 1956. – 221 с.

12. История военной картографии в России (XVIII – начало XX в.) / В.В. Глушков. – М.: ИДЭЛ, 2007. – 528 с.

13. Картоведение / Под ред. А.М. Берлянта. – М.: Аспект-Пресс, 2003. – 477 с.

14. Кафтан В.И. Системы координат и системы отсчёта в геодезии, геоинформатики и навигации // Геопрофи. – 2008. – № 3. – С. 60–63.

15. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. – М.: АСАДЕМА, 2004. – 372 с.

16. Метод и системы координат в геодезии [Текст]: учеб. пособие / Н.А. Телеганов, Г.Н. Тетерин. – Новосибирск: СГГА. – 2008. – 139 с.

17. Мкртычян, В.В. Геодезическая дуга Струве: путь к всемирному признанию / В.В. Мкртычян. – Минск: Логвинов И.П., 2013. – 270 с.

18. Огородова, Л.В. Высшая геодезия. Часть III. Теоретическая геодезия. Учебное пособие / Л.В. Огородова. – Москва: Геодезкартиздат, 2006. – 384 с.

19. Отчёт о геодезических, астрономических и картографических работах, произведённых членами Корпуса Военных Топографов в 1900 году. – Санкт Петербург: Воен. тип., 1902. – 457 с.

20. Романкевич, А.П. Градусные измерения дуги параллели 52° северной широты / А.П. Романкевич, В.М. Храмов, А.И. Гордиюк. // Земля Беларуси. – 2018. – № 3. – С. 29–32.

21. Рудницкая, Н.И. Современное состояние и основные направления совершенствования государственной геодезической инфраструктуры / Н.И. Рудницкая // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы III Международной научно-технической конференции [Электронный ресурс]: материалы Международной научно-технической конференции /сост.: С.Н. Соболевская, Е.М. Жуковский. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 180–183.

22. СТБ 1653-2006 Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь. Основные положения. Минск, Госстандарт, 2006.

23. СТБ 1820-2007 Государственная нивелирная сеть Республики Беларусь. Основные положения, 2007.

24. ТКП «Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь. Порядок создания фундаментальной астрономо – геодезической сети и высокоточной геодезической сети». – Минск: Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, 2009.

25. ТКП «Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь. Порядок создания спутниковой геодезической сети 1 класса – Минск: Государственный комитет по имуществу РБ, 2009.

26. Тригонометрическая съёмка губерний: Виленской, Курляндской, Гродненской и Минской. Произведённые ген. лейт. Теннером с 1816 по 1834 год. Отделение 1. – Санкт Петербург: Воен. тип., 1843. – 629 с.

27. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500 / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1989. – 286 с.

28. Условные знаки для топографической карты масштаба 1:10 000 (ГКНП 05-016-2018). – Минск, Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. 2019.

29. Условные знаки для топографических карт масштабов 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000 (ГКНП 05-015-2018). – Минск, Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. 2019.

30. Условные знаки для топографических карт масштабов 1:200 000 и 1:500 000 (ГКНП 05-019-2018). – Минск, Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. 2019.

31. Условные обозначения для инженерно-топографических планов масштабов 1:1 000, 1:500, 1:200. ТКП 45-1.02-293-2014 (02250). Инженерные изыскания для строительства. – Минск, Геосервис, 2014.

32. Шалькевич, Ф.Е. Методы аэрокосмических исследований. Мн.: Изд-во БГУ, 2006. – 161 с.

4.3. Электронные ресурсы

1. Геодезия в России в XIX веке. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ramgeo.ru/history/info/geo_history/chapter_2. – Дата доступа: 20.08.2025.

2. Использование систем координат СК-42, СК-95, ПЗ-90.11 и ГСК-2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mapinfo.ru/articles/gost>. – Дата доступа: 20.08.2025.

3. Основы рисования в Illustrator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpx.adobe.com/ru/illustrator/using/drawing-basics.html>. – Дата доступа: 20.08.2025.

4. Презентации лекций кафедры геодезии и космоаэрокартографии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geo.bsu.by/index.php/departments/cartography/pres-cart.html>. – Дата доступа: 20.08.2025.