

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

Б. Т. Мазуров

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОДЕЗИИ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия для обучающихся по направлению
подготовки 21.04.03 Геодезия и дистанционное зондирование
(уровень магистратуры)

Новосибирск
СГУГиТ
2018

УДК 528.2:528.4:528.8

М139

Рецензенты: доктор технических наук, профессор Омского государственного аграрного университета *А. В. Виноградов*

кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *К. Ф. Афонин*

Мазуров, Б. Т.

М139 Современные проблемы геодезии и дистанционного зондирования [Текст] : учеб. пособие / Б. Т. Мазуров. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 137 с.

ISBN 978-5-906948-93-9

Учебное пособие подготовлено доктором технических наук, профессором Б. Т. Мазуровым на кафедре космической и физической геодезии СГУГиТ.

В пособии содержатся некоторые теоретические сведения о современном состоянии методов геодезии и дистанционного зондирования. Проведен обзор научных исследований последних лет на данную тематику.

Учебное пособие по дисциплине «Современные проблемы геодезии и дистанционного зондирования» предназначено для обучающихся по направлению подготовки 21.04.03 Геодезия и дистанционное зондирование (уровень магистратуры).

Рекомендовано к изданию кафедрой космической и физической геодезии, Ученым советом Института геодезии и менеджмента СГУГиТ.

Ответственный редактор: доктор технических наук, профессор, СГУГиТ

Г. А. Уставич

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 528.2:528.4:528.8

ISBN 978-5-906948-93-9

© СГУГиТ, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Введение	8
1. Изучение формы и размеров Земли, ее поля силы тяжести, меняющихся во времени	10
1.1. Определение параметров земного эллипсоида, геоида и гравитационного поля Земли.....	10
1.2. Создание геодезической координатно-временной основы с использованием различных методов измерений.....	24
1.3. Геодезические (глобальные) навигационные спутниковые системы и технологии	27
1.4. Разработка новых принципов, методов, технических средств и технологий геодезических измерений для определения геометрических и физических параметров Земли и ее поверхности	33
Вопросы для подготовки к промежуточному контролю (экзамену, зачету).....	42
2. Геодезическое обеспечение строительно-монтажных и изыскательских работ	43
2.1. Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительно-монтажных и изыскательских работ.....	43
2.1.1. Геодезическое обеспечение строительно-монтажных работ	43
2.1.2. Геодезическое обеспечение кадастровых работ	45
2.1.3. Геодезическое обеспечение землеустроительных работ	46
2.1.4. Геодезическое обеспечение проектно-изыскательских работ	47
2.1.5. Геодезическое обеспечение маркшейдерских работ	49
2.1.6. Геодезическое обеспечение геологоразведочных работ	54
2.1.7. Геодезическое обеспечение лесоустроительных работ	55
2.1.8. Ведение кадастра	56

2.2. Геодезическое обеспечение изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных комплексов	57
2.2.1. Геодезические работы в строительстве	57
2.2.2. Решение специальных задач прикладной геодезии	58
2.2.3. Геодезический контроль изготовления и установки элементов ускорительно-накопительных комплексов.....	60
2.2.4. Метрологическое обеспечение мониторинга геометрических параметров	62
2.2.5. Геодезическое обеспечение строительства автомобильных дорог	63
2.2.6. Геодезическое обеспечение эксплуатации вантовых мостов.....	64
2.2.7. Совершенствование методики тригонометрического нивелирования короткими лучами	67
2.2.8. Геодезическое обеспечение строительства инженерных сооружений и их реконструкции в условиях горной местности.....	69
2.2.9. Обеспечение минимальности искажений при создании картографических материалов о местности.....	70
Вопросы для подготовки к промежуточному контролю (экзамену, зачету)	72
3. Геодинамический мониторинг методами геодезии и дистанционного зондирования	73
3.1. Геодезическое обеспечение геодинамического мониторинга состояния окружающей среды методами дистанционного зондирования	73
3.2. Мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры и ее поверхности, зданий и сооружений.....	80
Вопросы для подготовки к промежуточному контролю (экзамену, зачету)	93
4. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий	94
4.1. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий на основе ГИС-технологий.....	94
4.2. Принципы формирования, состав и структура геоинформационного пространства	97

4.2.1. Принципиальные подходы к разработке технологии определения метрических параметров территорий Российской Федерации	97
4.2.2. Геоинформационное пространство регионов	98
4.3. Разработка принципов и технологий создания геоинформационных систем различного назначения по геодезическим данным	101
4.3.1. Проектирование инфраструктуры геопространственных данных объектов автомобильных и железных дорог	101
4.3.2. Принципы и технологии создания геоинформационных систем различного назначения.....	102
4.3.3. Геоинформационные системы для обеспечения исследования опасных региональных гидрометеорологических явлений.....	103
4.3.4. Развитие образовательных программ для геоинформационного обеспечения устойчивого развития территорий.....	105
Вопросы для подготовки к промежуточному контролю (экзамену, зачету)	106
Заключение	107
Библиографический список	108
Приложение 1. Паспорта научных специальностей	111
Приложение 2. Определение радиуса Земли Эратосфеном	122
Приложение 3. Параметры существующих эллипсоидов вращения	125
Приложение 4. Основные параметры ГСК-2011	126
Приложение 5. Элементы трансформирования в ГСК-2011	127
Приложение 6. Сравнение характеристик спутниковых систем.....	128
Приложение 7. Спутники дистанционного зондирования Земли.....	130
Приложение 8. Облик перспективной орбитальной группировки космических средств дистанционного зондирования Земли на период до 2020 года	134
Приложение 9. Космические аппараты, используемые для изучения Земли.....	135
Приложение 10. Принципиальная технологическая схема определения метрических параметров территории Российской Федерации с использованием ГИС-технологий	136

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное содержание геодезии представляет собой сочетание науки, технологий и их практической реализации, направленной на определение формы и размеров Земли, окружающего ее гравитационного поля, выполнение топографических работ и технологий картографического представления ее поверхности. Результаты геодезических работ важны для обеспечения многих государственных и региональных задач, связанных с поддержанием и развитием оборонных функций, экологического равновесия, управления и др. Реализовать эти задачи могут молодые специалисты, получившие высшее образование по направлению подготовки 21.04.03 Геодезия и дистанционное зондирование, профиль подготовки «Геодезическое обеспечение устойчивого развития территорий» с квалификацией «магистр».

Образовательный процесс магистрантов соответствует учебным программам этого направления первого года обучения и предусматривает:

- понимание современного состояния геодезической науки и дистанционного зондирования и требующих решения проблем ее развития;
- решение стоящих перед геодезией и дистанционным зондированием научных и научно-практических задач с учетом возможностей современного приборостроения, спутниковых технологий, информационного и коммуникационного обеспечения;
- изучение основ, методов, алгоритмов математической обработки геодезических измерений разного вида и их интерпретации в совокупности с информацией, полученной методами дистанционного зондирования Земли, смежных наук о Земле, ее поверхности и физических полях;
- способность к выполнению полевых и камеральных геодезических работ по созданию, развитию и реконструкции опорных геодезических, нивелирных, гравиметрических сетей и сетей специального назначения.

Каждый раздел учебного пособия начинается с исторического и существующего фактического, констатационного материала. При его написании были использованы монографии, учебники, учебные пособия и методические рекомендации многих авторов, опытных преподавателей в сфере геодезического образования.

В работе сделан обзор современных научных исследований в области геодезии и дистанционного зондирования с учетом специфики рабочей образовательной программы. Поэтому часть учебного пособия является компиляцией результатов диссертационных исследований в России, в которых наиболее явно обозначены современные проблемы, задачи, технологические решения геодезии и дистанционного зондирования и пути их дальнейшего решения и развития.

Большинство упомянутых диссертаций защищались в ученых советах СГУГиТ, МГУГиК (МИИГАиК), Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (Санкт-Петербург) на протяжении последних пяти лет. Они приведены в библиографическом списке, со многими работами можно ознакомиться непосредственно в читальном зале СГУГиТ и частично – в электронном виде через Интернет.

Автор выражает благодарность ответственному редактору – доктору технических наук, профессору, профессору кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГУГиТ *Г. А. Уставичу*, рецензентам – доктору технических наук, профессору кафедры геодезии и геоинформационных систем ОмГАУ *А. В. Виноградову* и кандидату технических наук, доценту, доценту кафедры физической и космической геодезии СГУГиТ *К. Ф. Афонину*.

ВВЕДЕНИЕ

Восстанавливая историю идей той или иной науки, мы раскрываем закономерности становления ее современной теории. Взгляд в прошлое помогает найти причины, приведшие к возникновению противоборствующих научных концепций, каждая из которых есть продукт определенной исторической обстановки. Одной из важнейших закономерностей развития науки является преемственность, определяемая как процесс использования известного знания об изучаемом объекте для выработки нового знания о его составе, структуре и упорядоченности. Преемственность можно проследить в последовательном развитии какой-либо общей идеи.

В полной мере это можно применить к развитию методов координатного и временного описания окружающих человека реальных объектов. Понимание координатного расположения, структуры и состава позволяет понять законы их функционирования, сформулировать прогнозные модели развития, учесть влияющие факторы. В результате объективно возникают проблемы – задачи, требующие немедленного (соразмерно величине проблемы) разрешения, что является одним из условий признания диссертации на присвоение ученой степени доктора наук. Для этого исследователем используются существующие теоретические и практические результаты, предлагаются собственные методы, методики, алгоритмы, технологии, направленные на решение проблемы.

Каковы же современные проблемы геодезии и дистанционного зондирования? Их много. Изначально трудность заключается в собственно формулировании проблемы. Одному человеку невозможно описать современные проблемы. Но есть научное сообщество – опытные ученые, исследователи, соискатели званий ученых степеней кандидата или доктора наук, аспиранты. Соединение их знаний и представлений (компиляция), результатов и прогнозов дальнейшего развития идей есть вариант понимания современных проблем геодезии и дистанционного зондирования в контексте данного учебного пособия.

При написании настоящего пособия были учтены утвержденные Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации паспорта научных специальностей «Геодезия», «Картография», «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия», «Геоинформатика», «Геоэкология», «Землеустройство, кадастр и мониторинг земель» (прил. 1).

Таким образом, концепция создания учебного пособия заключается в переходе от имеющихся знаний о предмете к современным направлениям его исследования.

1. ИЗУЧЕНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЗЕМЛИ, ЕЕ ПОЛЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ, МЕНЯЮЩИХСЯ ВО ВРЕМЕНИ

1.1. Определение параметров земного эллипсоида, геоида и гравитационного поля Земли

Уже более чем две тысячи лет объективно существует стремление человеческого общества к пониманию места своего проживания. Развитие представлений о форме Земли и даже факты первых определений размеров Земли как шара и как эллипсоида изложены во многих книгах и учебниках (см., например: [21]). Признание и натурное обоснование формы Земли как сферы было сделано еще Пифагором в VI в. до н. э., Аристотелем в III в. до н. э. В III в. до н. э. глава Александрийской библиотеки Эратосфен Киренский выполнил измерение радиуса Земли. При этом он использовал измерение тени от вертикально стоящего стержня и скорости передвижения каравана верблюдов от Сиены (Асуан, Египет) до Александрии. Это было первое градусное измерение (прил. 2). Определения по радиусу Земли позднее были выполнены греками и арабами. Дугу в 1° измерил в 827 г. Аль-Мамун – арабский калиф, сын известного Гарун-аль-Рашида. Удивительно, что для уровня приборов того времени радиус Земли был определен достаточно точно с ошибкой менее 0,6 %. После длительного научного соревнования английских и французских ученых (Ньютон, Кассини) и проведения Французской академией наук градусных измерений в Лапландии и Перу (1735–1736 гг.) было экспериментально подтверждено сжатие Земли с полюсов, и модель Земли как сферы заменила математическая модель эллипсоида вращения (рис. 1), более близкая к реальной физической поверхности.

В течение XIX и XX вв. неоднократно подвергались уточнению геометрические параметры модели – большая полуось a и сжатие α земного эллипсоида по мере накопления новых измерений.

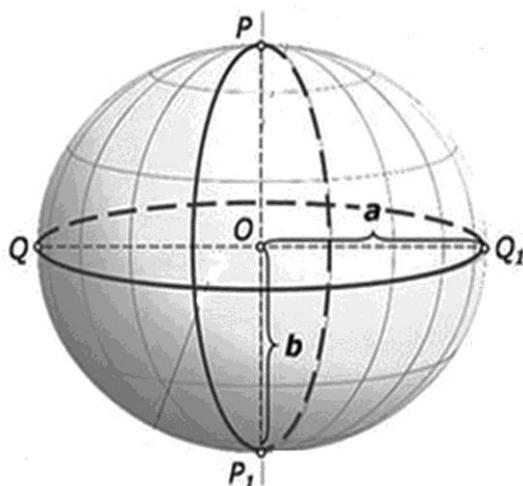


Рис. 1. Эллипсоидальная модель Земли

Для практического использования эллипсоида в качестве поверхности относимости при обработке геодезических сетей в разное время в различных странах (или группах стран) были законодательно закреплены отличающиеся по параметрам эллипсоиды (прил. 3) и связанные с ними «национальные» системы координат.

Для всей Земли за ее модель принимают эллипсоид вращения с малым полярным сжатием, называемый *общим земным эллипсоидом*.

Параметры земного эллипсоида a и α определяют с учетом следующих условий.

1. Центр общего земного эллипсоида должен совпадать с центром масс Земли, а его малая ось – с осью вращения Земли.

2. Сумма квадратов отклонений по высоте (аномалий высоты) поверхности эллипсоида от поверхности геоида (квазигеоида) должна быть наименьшей.

Референц-эллипсоидом называют эллипсоид, центр которого близок, но не совмещен с центром масс Земли, малая полуось параллельна оси вращения планеты, а параметры и ориентировка в теле Земли подобраны так, что его поверхность близка к поверхности геоида в пределах ограниченной территории, на которой он применяется в качестве поверхности относимости.

В отличие от общего земного, ориентировка референц-эллипсоида в теле планеты теоретически ограничена лишь условием параллельности малой полуоси и оси вращения Земли. Поэтому для референц-эллипсоида, кроме параметров a и α , необходимо задать ряд величин, определяющих его ориентировку в теле Земли. Эти величины называют *исходными геодезическими датами*. В их число входят геодезические широта B_0 , долгота L_0 и высота H_0 исходного пункта геодезической сети, а также азимут A_0 направления из исходного на некоторый пункт сети.

Например, в России и странах СНГ до последнего времени использовался референц-эллипсоид Красовского. Связанная с ним система координат определена исходными геодезическими датами, заданными для центра Круглого зала Пулковской обсерватории (рис. 2), который является исходным пунктом сети бывшего СССР. На территории США и Канады используется референц-эллипсоид Кларка. С ним связана система координат NAD (North American Data), ориентировка которой обеспечивается исходными геодезическими датами в исходном пункте межнациональной сети Мидз Рэнч.



Рис. 2. Круглый зал Пулковской обсерватории

В настоящее время развиваются методы координатизации с использованием Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Существует несколько ГНСС:

- GPS (Global Position System), управление которой осуществляется Правительством США;
- ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) – российская спутниковая система;
- Galileo – европейская спутниковая система;
- Compass – региональная спутниковая навигационная система под управлением Правительства Китая.

Вводятся также региональные ГНСС в Индии и Японии.

В последние десятилетия в геодезической практике используют эллипсоиды, по параметрам и ориентировке близкие к общему земному (прил. 3). Например, эллипсоид и связанная с ним общеземная система координат, известная под названием WGS-84 (World Global System, 1984 г.), широко применяются для определения местоположения пунктов с использованием американской спутниковой навигационной системы GPS. Аналогичная общеземная система координат, связанная с глобальной моделью ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 г.), применяется для определения местоположения с использованием отечественной спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС. При ориентировании общеземного эллипсоида в теле Земли (в отличие от референц-эллипсоида) нет необходимости вводить исходные геодезические даты.

Таким образом, проблема изучения фигуры Земли по наземным измерениям как бы распадается на две составные части: первая – определение формы, размеров земного эллипсоида и его ориентирование в теле Земли; вторая часть – изучение отступления физической поверхности Земли от поверхности принятого эллипсоида.

Очевидно, что координаты одних и тех же пунктов на земной поверхности, определенные относительно эллипсоидов, отличающихся параметрами и ориентировкой в теле Земли, будут различными. Использование методов космической геодезии для определения местоположения в общеземной системе координат, а также возросший уровень международного сотрудничества в экономической и научной сферах обусловили необхо-

димось обеспечения связи между отдельными «национальными» референц-системами и общеземной системой координат.

В Российской Федерации развитие единых государственных систем координат регламентировалось следующими документами:

- Постановлением Совета Министров СССР от 07.04.1946 № 760 «О введении единой системы геодезических координат»;
- Постановлением Правительства РФ от 28.07.2000 № 568 «Об установлении единых государственных систем координат»;
- Постановлением Правительства РФ от 28.12.2012 № 1463 «О единых государственных системах координат».

Построение первой единой государственной системы координат началось в 1928 г. и завершилось в 1942 г. Система координат получила название СК-42, введена в действие Постановлением Совета Министров СССР от 07.04.1946 № 760.

Внедрение спутниковых технологий привело к созданию систем координат СК-95 и ПЗ-90.

В настоящее время к единым государственным системам координат (ГСК) относятся:

- геодезическая система координат 2011 г. (ГСК-2011), применяемая при геодезических и картографических работах;
- общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 г.» (ПЗ-90.11), предназначенная для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач.

В системах СК-42 и СК-95 при уравнивании принят референц-эллипсоид Ф. Н. Красовского, в системах ПЗ-90, ПЗ-90.11, ГСК-2011 – общеземной эллипсоид.

Для некоторых территорий Российской Федерации введены местные системы координат (МСК). Их использование оправдано при выполнении кадастровых съемок, межевания земельных участков, инвентаризации городских земель, инженерных изысканий и других видов работ.

Большая часть местных систем координат основана на СК-42, которая не является однородным геодезическим построением и имеет различный уровень систематических и случайных ошибок на разных территориях.

Проблема перехода к СК-95 от местной системы координат имеет несколько аспектов:

– местные системы координат несут на себе отпечаток всех локальных деформаций СК-42 на соответствующей территории;

– необходимо обеспечить минимальные изменения МСК в целом, чтобы максимально сохранить преемственность (согласованность) результатов прежних и вновь выполняемых съемок на данной территории.

Системы координат СК-95 и СК-42 применялись до 1 января 2017 г. Постановлением Правительства РФ от 28.12.2012 № 1463 в качестве единой государственной системы координат для использования при осуществлении геодезических и картографических работ установлена геодезическая система координат 2011 г. (ГСК-2011), но ее практическая реализация в настоящее время до конца не осуществлена. Построение системы координат ГСК-2011 выполнялось в рамках мероприятий федеральной целевой программы (ФЦП) ГЛОНАСС на период 2002–2011 гг.

ГСК-2011 является геоцентрической системой координат, отсчитываемых от центра, осей и поверхности общего земного эллипсоида (прил. 4). Это позволит более эффективно использовать спутниковые технологии координатных определений и, как следствие, повысить точность и оперативность решения задач геодезического обеспечения, отвечающего современным требованиям экономики, науки и обороны страны. Окончательное введение системы координат ГСК-2011 повысит эффективность использования системы ГЛОНАСС и выполнения мониторинга деформаций земной поверхности, что важно при решении многих научных и научно-практических задач.

Принцип ориентировки в теле Земли ГСК-2011 идентичен Международной земной опорной системе координат ITRS, установленной в соответствии с рекомендациями Международной службы вращения Земли (International Earth Rotation and Reference Systems Service – IERS) и Международной ассоциации геодезии (International Association of Geodesy – IAG), а именно:

- начало системы координат совпадает с центром масс Земли;
- ось Z направлена к условному земному полюсу;
- ось X направлена в точку пересечения плоскости экватора и начального (Гринвичского) меридиана, установленного Международным бюро времени;
- ось Y дополняет систему до правой системы координат.

Точность установления ГСК-2011 по отношению к центру масс Земли характеризуется средней квадратической погрешностью, не превышающей 10 см. Основные параметры системы координат ГСК-2011 приведены в прил. 4. Значение размеров большой полуоси принято равным 6 378 136,5 м, что соответствует доступным в настоящее время размерам большой полуоси общего земного эллипсоида. Существуют достаточно простые процедуры преобразования (трансформирования) в ГСК-2011 из других систем координат (прил. 5).

Неотъемлемой частью системы координат ГСК-2011 является новая отечественная глобальная модель гравитационного поля Земли ГАО-2012, которая по уровню точности и детальности не уступает современным зарубежным моделям геопотенциала EIGEN5C и EGM2008.

Физическую поверхность Земли невозможно использовать для решения многих геодезических задач по причине ее топографической сложности и ряда других факторов. И поэтому объективно возникло понятие геоида (И. Листинг, 1873 г.). Геоид – тоже модель Земли, но построенная на факте существования гравитационного поля, окружающего Землю. Основным элементом данной модели является понятие уровенной поверхности. Это есть поверхность, во всех своих точках нормальная (перпендикулярная) к отвесной линии (направлению силы тяжести). По определению и физическому смыслу существует бесчисленное множество уровенных поверхностей. Одна из них особенно выделена для задач описания Земли – это уровенная поверхность, совпадающая со средним уровнем океанов, водные массы которых находятся в состоянии покоя, которая и есть геоид.

Принято отсчитывать высоты (ортометрические) точек на поверхности Земли от этой поверхности. Она очень сложная (рис. 3) по причине неравномерного распределения масс в теле Земли и объективно меняется со временем вследствие геодинамических процессов. Находясь на поверхности, невозможно однозначно построить пространственную модель распределения масс внутри. В науке данная проблема определяется как некорректная обратная задача геофизики. Эти факторы обуславливают неопределенность редуцирования выполняемых на физической поверхности Земли геодезических измерений на поверхность геоида.

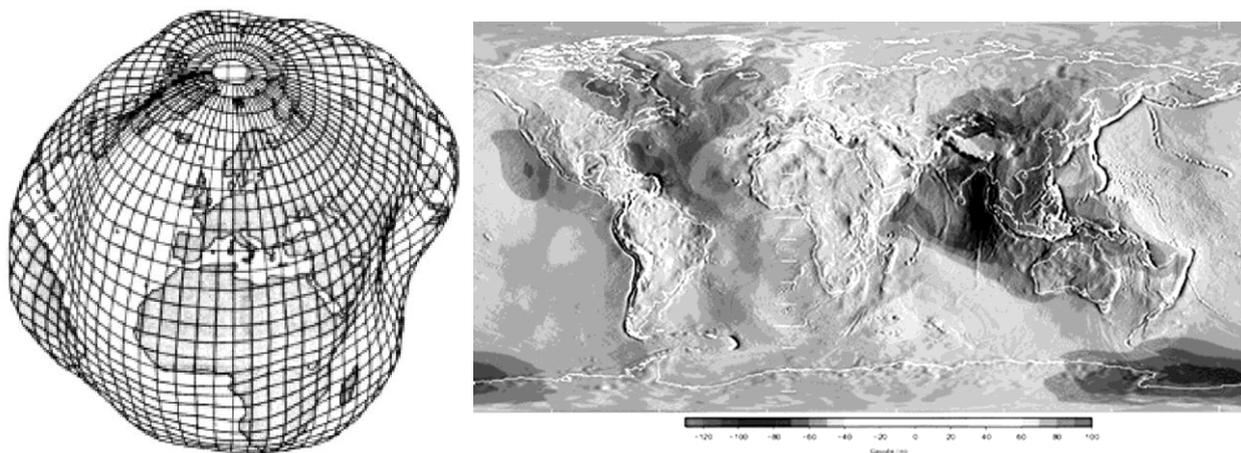


Рис. 3. Геоид – модель Земли как уровенной поверхности

Возможности более точного определения параметров Земли, создаваемого ею гравитационного поля в настоящее время связаны с высоким уровнем развития приборостроения, глубоким теоретическим и методическим описанием технологий получения измерительной информации о Земле. Научная дисциплина «Высшая геодезия» определяет параметры земного эллипсоида, геоида и гравитационного поля Земли.

Высшая геодезия – наука, занимающаяся определением формы, размеров Земли и окружающего ее гравитационного поля, созданием государственных опорных геодезических сетей, изучением геодинамических явлений, решением геодезических задач на поверхности земного эллипсоида и в пространстве. Написанные еще в XX в. монографии и учебники по высшей геодезии в некоторых вопросах объективно устарели. Это касается большинства технологий производства геодезических измерений, например, базисных измерений, частично – методов создания геодезических сетей на больших территориях и др. ГНСС-технологии оптимизировали очень многие этапы создания геодезических сетей и другие важные процессы координатно-временных определений.

Координаты в общем смысле есть числа, определяющие положение точки на плоскости, любой поверхности или в пространстве. В геодезии под координатами понимают совокупность трех чисел, определяющих положение точки земной поверхности относительно некоторой исходной поверхности.

При определении координат точек земной поверхности в геодезии применяются следующие основные системы координат:

- система астрономических координат (рис. 4);
- система геодезических координат (рис. 5);
- система географических координат;
- система прямоугольных координат (рис. 6);
- зональная система координат в проекции Гаусса – Крюгера;
- система полярных координат.

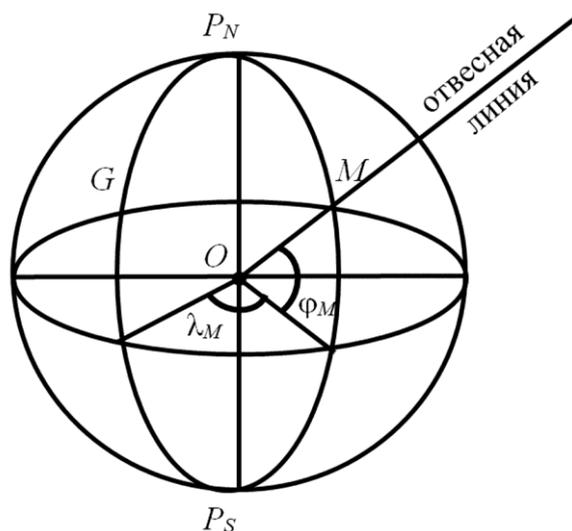


Рис. 4. Астрономическая система координат

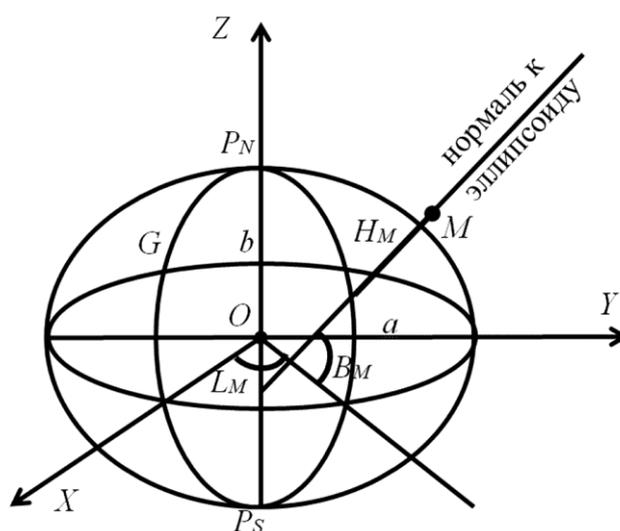


Рис. 5. Система геодезических пространственных координат

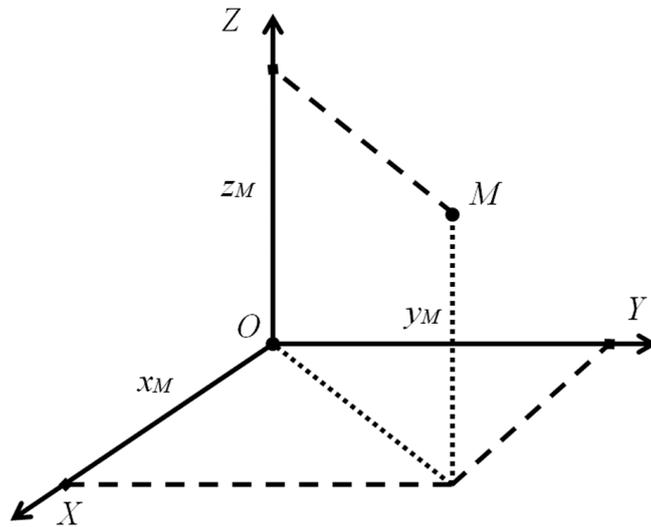


Рис. 6. Система геодезических прямоугольных координат

Между координатами всех систем существуют геометрически и математически выраженные связи. Иначе это называется преобразованием систем координат. Например, преобразования Гельмерта пространственных прямоугольных координат выражены в переносе начала системы координат (три параметра ΔX , ΔY , ΔZ), углах разворота осей (три угла) и масштабном коэффициенте (седьмой параметр).

Предположим, что заданы координаты X' , Y' , Z' некоторого пункта в первой системе. Необходимо преобразовать их в координаты X , Y , Z второй системы. Для решения этой задачи используют преобразование Гельмерта

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + R \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} (1 + \Delta m), \quad (1)$$

где ΔX , ΔY , ΔZ – координаты точки O (начала второй системы), определенные в системе координат исходной системы X' , Y' , Z' ;

Δm – масштабный множитель.

Матрица R , входящая в формулу (1), является матрицей вращения системы и для малых углов поворота имеет следующий вид:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & 1 & \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y & -\varepsilon_X & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где ε_X , ε_Y , ε_Z – углы поворота исходной системы X' , Y' , Z' вокруг соответствующих осей, учитывающие непараллельность осей обеих систем. Для расчетов по формуле (2) эти углы задают в радианах.

Модели преобразования геодезических систем координат принято описывать параметрами трансформирования в пространстве. Например, элементы трансформирования (взаимного ориентирования) перехода от системы СК-42 к системе ПЗ-90.02 следующие:

$$\Delta X = 23,93 \text{ м}; \quad \Delta Y = -141,03 \text{ м}; \quad \Delta Z = -79,98 \text{ м};$$

$$\varepsilon_X = 0''; \quad \varepsilon_Y = -0,35''; \quad \varepsilon_Z = -0,79''; \quad \Delta m = -0,000\,000\,22.$$

Тем самым учитывается разность параметров эллипсоидов систем ПЗ-90 и Красовского – для большой полуоси $\Delta a = -108,7 \text{ м}$, для эксцентриситета $\Delta e^2 = 0,000\,000\,944\,57$.

Параметры ГСК-2011 приведены в прил. 3, а ее элементы преобразования – в прил. 4.

В диссертации [8] рассматривается и решается с применением современных методов исследований актуальная проблема – геодезическое обеспечение территорий, одной из задач которой является определение формы и площади объекта.

Обоснована теоретически и подтверждена экспериментально необходимость системного подхода к математической обработке геодезических данных, введения единой отсчетной поверхности и единого координатного пространства на всю территорию Российской Федерации. Реализована методика в виде алгоритмов и программного обеспечения для вычисления площади участка на поверхностях эллипсоида и шара, полученного при эквивалентном и конформном проектировании на него эллипсоида по второму способу Гаусса.

На базе аналитических и практических исследований автором [8] разработаны рекомендации по установлению параметров местных систем координат, способы вычисления площади на поверхностях начального эллипсоида и эквивалентного шара. Для вычисления площади участков застроенных территорий предложено выражать площадь мерой телесного угла, а для определения площади в метрической мере – вычислять значения полуосей эллипсоида с учетом высоты участка.

Разработанные методы определения площади участка на поверхностях эллипсоида или эквивалентного шара полностью удовлетворяют всем современным требованиям и нормативным документам по геодезическому обеспечению территорий. Применение предложенной методологии позволяет вычислять площадь произвольного участка земной поверхности, расположенного в любом месте земного эллипсоида и в любой системе координат, с погрешностью не более $0,05 \text{ м}^2$.

Высокая точность вычисления площади территории достигается с применением нового метода решения определенного интеграла. Полученные результаты исследований обладают новизной, представляют научную и практическую значимость. Изложены научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны [8].

В настоящее время актуальной является и необходимость выбора геодезической проекции для инженерно-геодезических и городских работ, математического обоснования этого выбора и их практического подтверждения [9].

При выборе такой проекции важно выдержать следующие условия.

1. Проекция должна быть конформной, ее начальные параметры выбирают таким образом, чтобы масштаб искажения при проектировании с эллипсоида на плоскость не превышал относительных погрешностей измерения линий.

2. Система отсчета должна иметь одну математическую основу для всех городских, инженерно-геодезических и кадастровых работ.

3. Математическая основа должна быть математически связана с государственной системой координат. Погрешности перевычисления координат из одной системы в любую другую не должны превышать $0,0005 \text{ м}$.

Геодезические проекции составляют более узкий класс проекций, предназначенных для математической обработки геодезических сетей. Практический эффект от использования этих проекций заключается в том, что при переходе с поверхности эллипсоида на плоскость значительно упрощается решение задач, связанных с обработкой сетей (решение треугольников, уравнивание сети, решение главных геодезических задач). Такие задачи решаются методами аналитической геометрии на плоскости. Эффект от перехода на плоскость реализуется, когда формулы преобразования в элементы геодезических сетей (направления и линии), используемые для вычисления редуций, обеспечивают необходимую точность и легко реализуются в вычислениях. Изложенные требования являются основными при выборе геодезической проекции.

С точки зрения искажений для геодезии наиболее приемлемы равноугольные (конформные) проекции. Достоинство конформной проекции состоит в том, что масштаб изображения в данной точке не зависит от направления. В результате соблюдается сохранение подобия бесконечно малых фигур и отсутствие искажения углов, т. е. углы на поверхности эллипсоида и на плоскости соответственно равны.

Актуальным является вопрос выбора проекции, наиболее подходящей для введения плоской системы координат. Линии и направления искажаются в любой проекции, т. е. масштаб различен в разных местах карты. В общем случае, в произвольной проекции, масштаб зависит от положения точки относительно основной (начальной) точки проекции или стандартной (осевой) линии (параллель или меридиан) и азимута направления в данной точке. В таких проекциях сложно учитывать искажения проектируемых элементов при переходе с эллипсоида на плоскость. Необходимо знать не только координаты точки относительно начальной точки или линии, но и азимуты направлений на другие точки. Для простого и точного учета искажений при переходе с эллипсоида на плоскость необходимо выбирать проекции, в которых масштаб искажений не зависит от направления. Этому требованию отвечают только равноугольные проекции. Технологическое требование к проекции состоит в возможности учитывать неизбежные искажения направлений, длин и площадей на всей территории, которую охватывает МСК. Погрешности вычисления искажений должны быть меньше погрешностей измерения линий.

Требования к простоте вычислений и малой величине искажений неизбежно приводят к необходимости отображения земной поверхности в зонах ограниченного размера. Оптимальным является проекция с минимальным количеством зон максимального размера и их единообразие. Требования к проекции будут следующие:

- равноугольность;
- малые искажения в пределах листа топографической карты;
- простота учета искажений в границах территорий значительных размеров;
- малое количество зон;
- единообразие зон.

Равноугольные проекции, которые получают плоские координаты, называются *геодезическими*. К ним относятся азимутальная проекция Русселя, коническая проекция Ламберта – Гаусса, поперечно-цилиндрические проекции Гаусса – Крюгера и UTM (Universal Transverse Mercator).

Основной недостаток азимутальных и конических проекций – это индивидуальность каждой зоны проекций. (Для каждой зоны задают свои постоянные проекции.) Но при установлении МСК для каждого района в любой проекции необходимы свои постоянные (параметры) МСК. При установлении МСК района в проекции Гаусса – Крюгера следует задать:

- 1) значение координат начального пункта в ГСК (X_0, Y_0);
- 2) значение координат начального пункта в МСК (x_0, y_0);
- 3) долготу осевого меридиана МСК (L_0);
- 4) высоту поверхности относимости МСК (H_0);
- 5) угол поворота осей (γ) МСК относительно ГСК в начальном пункте.

Применение конической проекции Ламберта можно обосновать при установлении МСК для вытянутых вдоль параллели трасс различных коммуникаций. Для таких работ можно выбрать с учетом рекомендаций работы одну, максимум, две зоны на расстояние 1 000 км или более. Для установления МСК в такой проекции потребуется задать примерно 7–8 параметров.

Для установления любой МСК в выбранной проекции необходимо задавать начальные параметры. Количество и вид параметров будут различны, но они необходимы для последующего применения МСК. При современ-

ном развитии вычислительной техники сложности установления любой проекции связаны только с правильностью выбранной методики и подбором соответствующего математического аппарата.

Требования, предъявляемые к математическим формулам, должны соответствовать возможностям современных средств измерений. Если использовать проекции и формулы преобразования координат, а главное – редуцирования полевых измерений, которые применялись для топографо-геодезических работ конца прошлого века, то в результате построенные цифровые модели местности объектов не будут соответствовать задачам и требованиям, предъявляемым к вводимой ГСК-2011.

В заключение можно сделать следующие выводы.

1. Применение МСК необходимо для качественного обеспечения инженерной и любой другой деятельности на различных объектах.

2. Способ построения МСК и выбор проекции должны быть обоснованы.

3. Информация о способах построения МСК и выбранной проекции должна быть полной и доступной пользователям.

4. При обработке полевых измерений необходимо редуцировать результаты измерений в МСК.

5. Формулы прямого и обратного преобразования координат из МСК в общеземные координаты должны быть в информации о МСК.

1.2. Создание геодезической координатно-временной основы с использованием различных методов измерений

Государственные геодезические сети (ГГС) – система закрепленных на местности пунктов, положение которых определено в единой системе координат.

Все геодезические сети можно разделить по следующим признакам:

– по территориальному признаку:

- 1) глобальная;
- 2) национальные (ГГС);
- 3) сети специального назначения (ГССН);
- 4) съемочные сети;

– по размерности вектора координат:

- 1) плановые;
- 2) высотные;
- 3) пространственные.

Глобальные сети создаются на всю поверхность Земли спутниковыми методами и являются пространственными с началом координат в центре масс Земли (ПЗ-90). Национальные сети делятся:

– на ГГС с определением координат в СК-95 в проекции Гаусса – Крюгера на плоскости;

– государственные нивелирные сети (ГНС) с определением нормальных высот в Балтийской системе, т. е. от 0 (нуля) Кронштадтского футштока.

ГССН создаются в тех случаях, когда дальнейшее сгущение пунктов ГГС экономически нецелесообразно или требуется наиболее высокая точность геодезической сети. В зависимости от назначения эти сети могут быть плановыми, высотными, планово-высотными и даже пространственными и создаваться в любой системе координат.

Съемочные сети являются обоснованием для выполнения топоъемок и создаются обычно планово-высотными.

ГГС включает в себя геодезические построения различных классов точности: а) фундаментальную астрономо-геодезическую сеть (ФАГС); б) высокоточную геодезическую сеть (ВГС); в) спутниковую геодезическую сеть 1-го класса (СГС-1).

Классическая ГГС, созданная в России в XX в., описана в многочисленных учебниках по высшей геодезии (см., например: [21]).

Основой системы координат ГСК-2011 является государственная спутниковая геодезическая сеть трехуровневой структуры, включающая в себя ФАГС, ВГС и СГС-1. В государственную геодезическую сеть также включены созданные в советский период сети триангуляции, полигонометрии и трилатерации 1–4-го класса (~283 000 пунктов). Их уравнивание выполнено с опорой на пункты ФАГС, ВГС и СГС-1. Тем самым обеспечивается возможность использования в системе координат ГСК-2011 огромного количества геодезических и картографических материалов, созданных ранее на основе традиционных методов и технологий.

Верхний уровень иерархии государственной спутниковой сети представляет фундаментальная астрономо-геодезическая сеть. Она служит исходной геодезической основой для построения заполняющих ее спутниковых сетей и практически реализует геоцентрическую систему координат для решения задач координатно-временного обеспечения.

Пространственное положение пунктов ФАГС определяется методами космической геодезии в общеземной системе координат относительно центра масс Земли с ошибкой не более 10–15 см, а ошибка взаимного положения любых пунктов ФАГС не превышает 1–2 см по плановому положению и 2–3 см по высоте с учетом скоростей их изменений во времени.

В перспективе в рамках реализации мероприятий ФЦП «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» и ФЦП «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учета недвижимости (2014–2019 годы)» (рис. 7, 8) предусмотрено достижение к 2020 г. следующих количественных показателей:

- 80 пунктов ФАГС;
- 350 пунктов ВГС;
- 6 000 пунктов СГС-1.



Рис. 7. Расположение пунктов ФАГС к 2020 г.

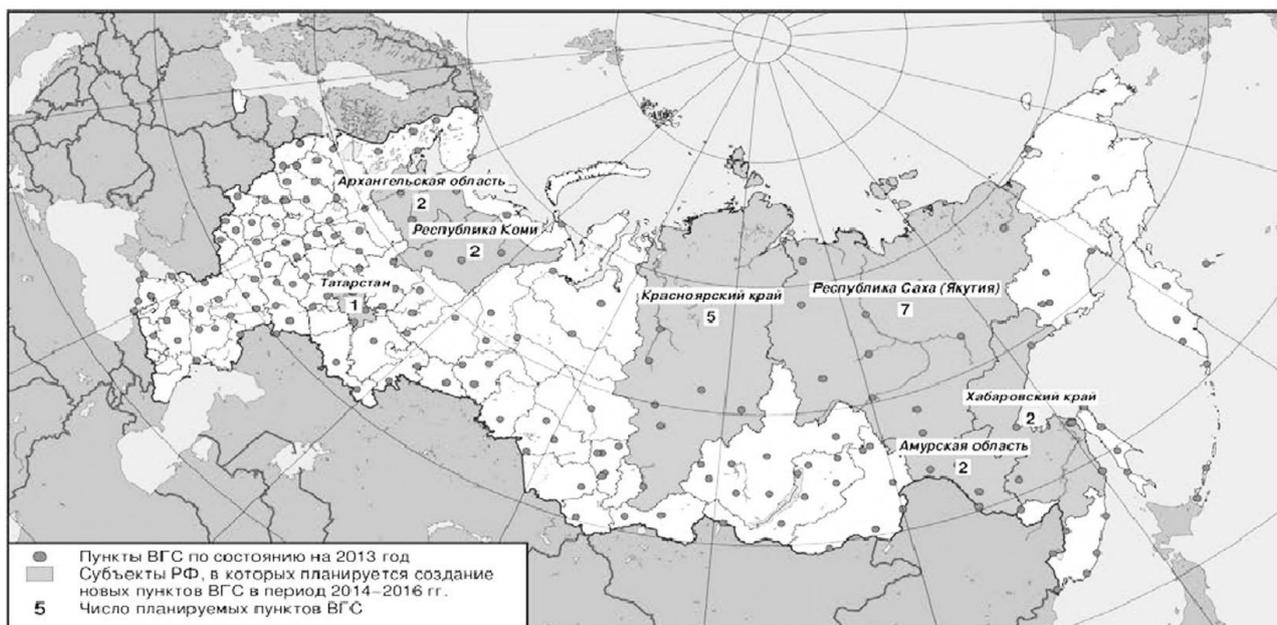


Рис. 8. Сеть пунктов ВГС с перспективой развития

Это позволит достичь к 2020 г. следующих точностных характеристик системы координат ГСК-2011:

- погрешность взаимного положения пунктов ФАГС – 0,5 см;
- погрешность геоцентричности системы координат ГСК-2011 – 1 см;
- погрешность распространения системы координат ГСК-2011 на территории Российской Федерации, реализуемой системой ГЛОНАСС, – 2 см;
- погрешность цифровой модели высот квазигеоида – 5 см.

1.3. Геодезические (глобальные) навигационные спутниковые системы и технологии

Действующими для всей территории планеты являются системы GPS и ГЛОНАСС (рис. 9, 10). Общее название для них – *Глобальные навигационные спутниковые системы* (ГНСС). Также почти готова к полноценному использованию европейская система Galileo. Китайская система Beidou обеспечивает навигационные функции на своей территории и в юго-западном регионе Тихого океана. Ведутся работы в этом направлении и в Индии.

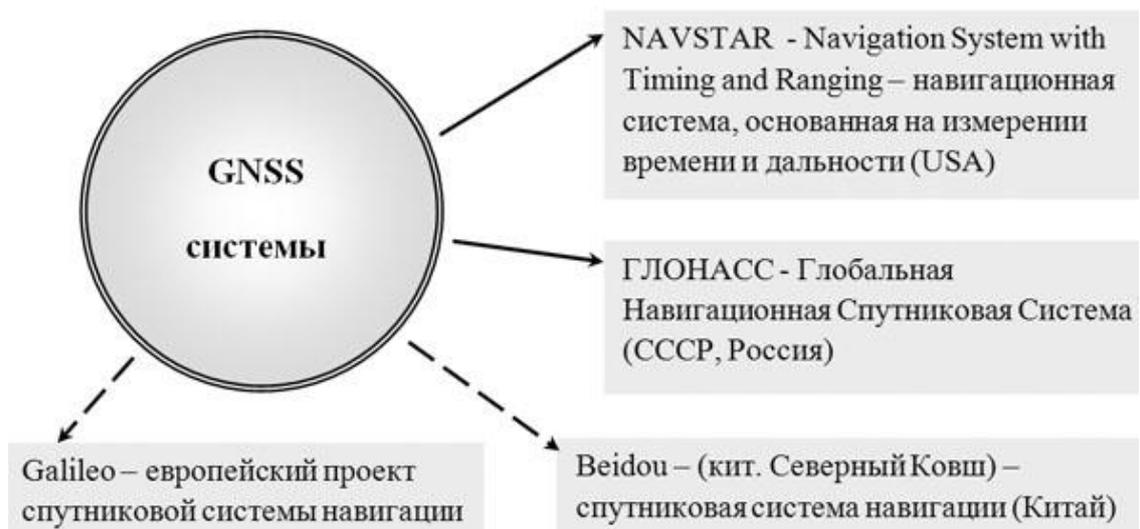


Рис. 9. Существующие ГНСС

Различные системы имеют свои характеристики (прил. 6). Орбитальные структуры спутниковых систем также различны (рис. 10).

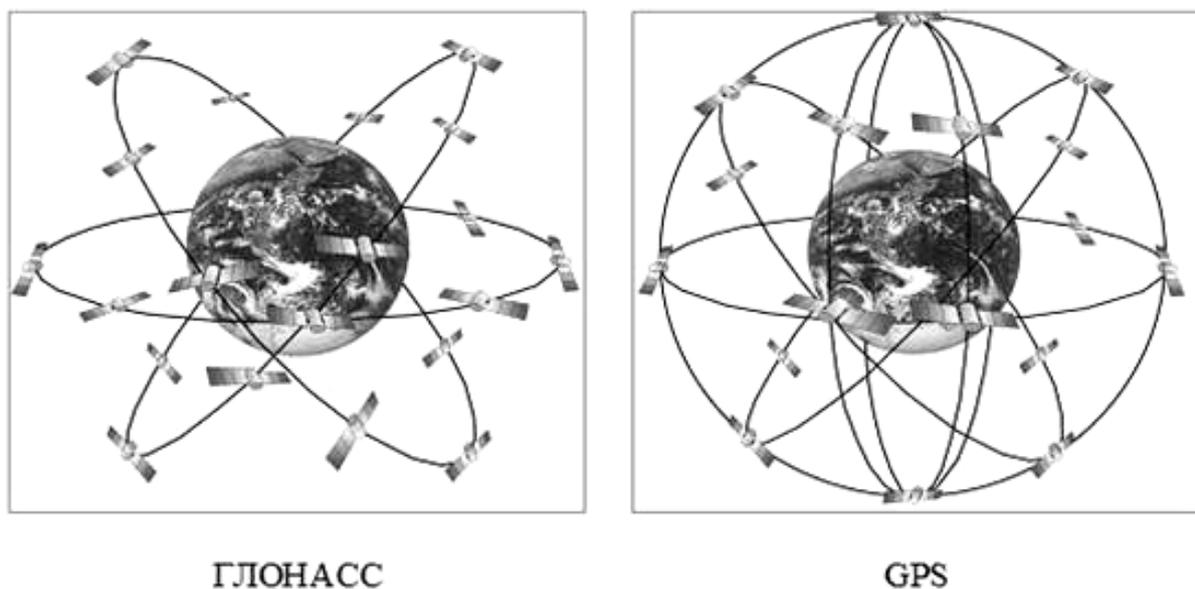


Рис. 10. Орбитальные структуры спутниковых систем

В структуре работ по эксплуатации ГНСС различают несколько так называемых сегментов (рис. 11).

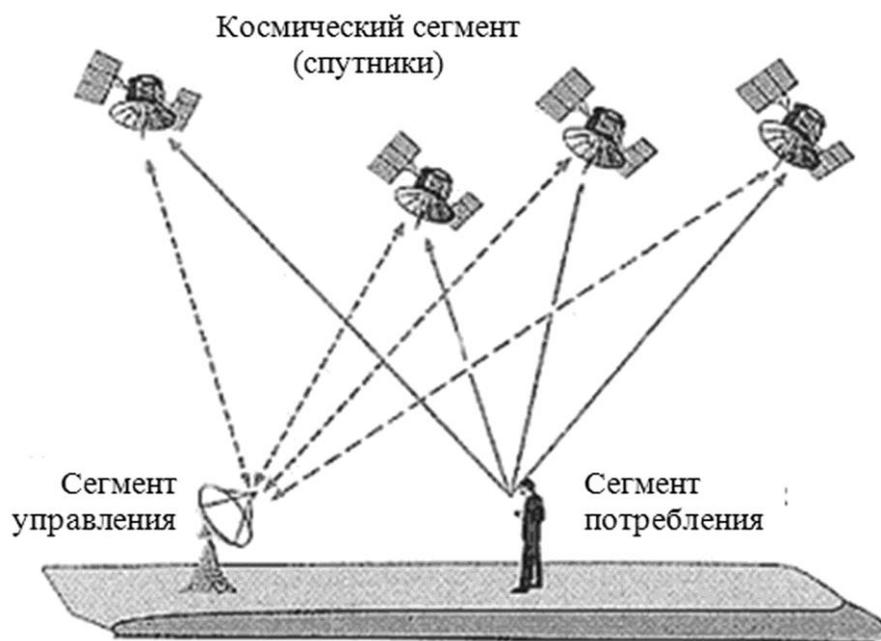


Рис. 11. Сегменты ГНСС

Наземные станции России распределены по ее территории (рис. 12).



Рис. 12. Расположение наземных станций слежения СНС ГЛОНАСС

Спутниковая навигационная система (СНС) ГЛОНАСС выполняет разнообразные функции (рис. 13), очень востребованные в настоящее время, например, в транспортной отрасли (рис. 14), в обеспечении обороны (рис. 15) и, конечно, в области геодезии, кадастра и землеустройства (рис. 16).



Рис. 13. Задачи и области применения СНС ГЛОНАСС

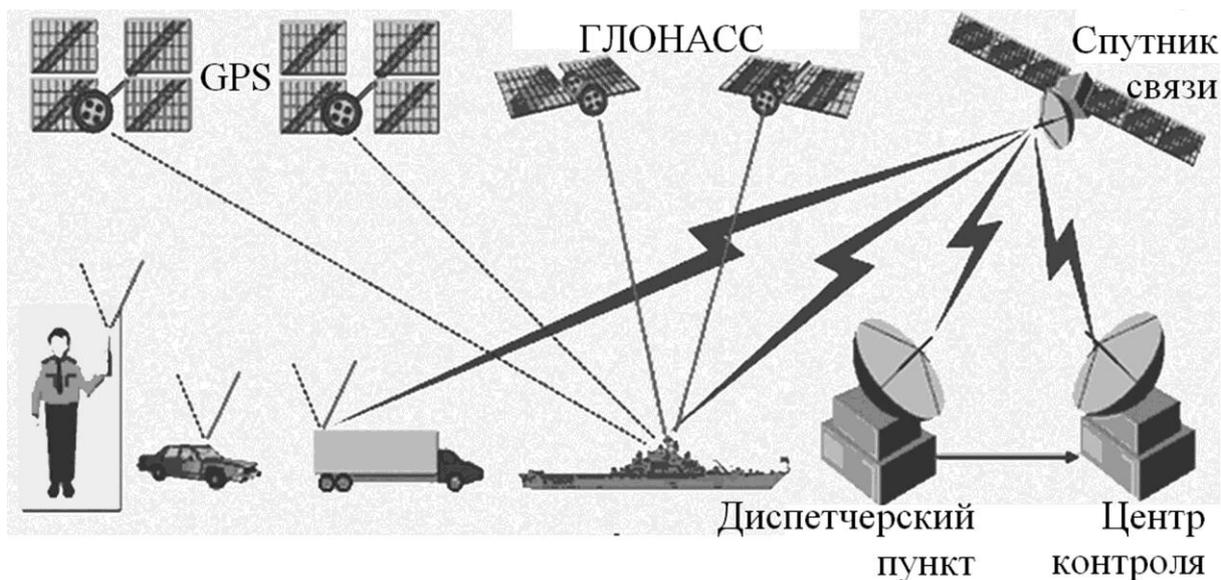


Рис. 14. Обеспечение транспортных функций

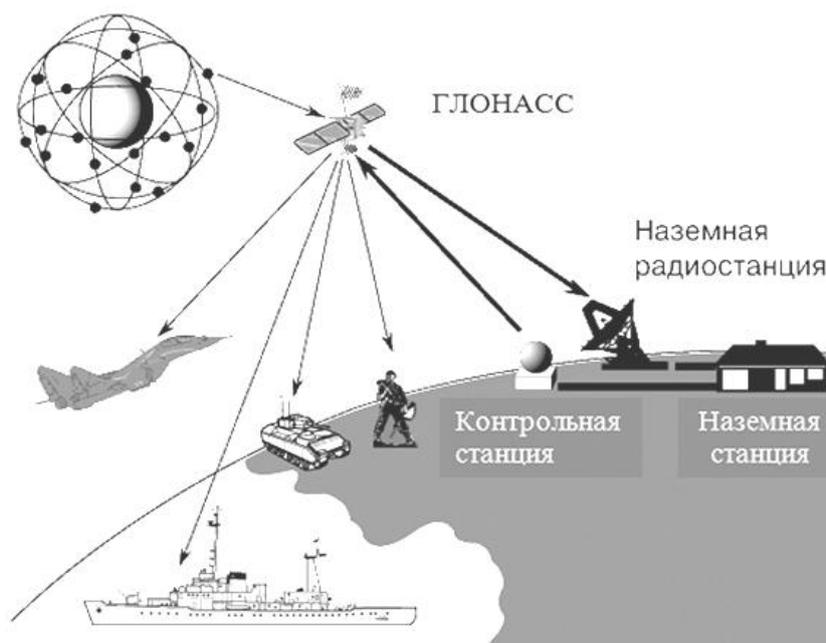


Рис. 15. Навигационное обеспечение оборонной инфраструктуры

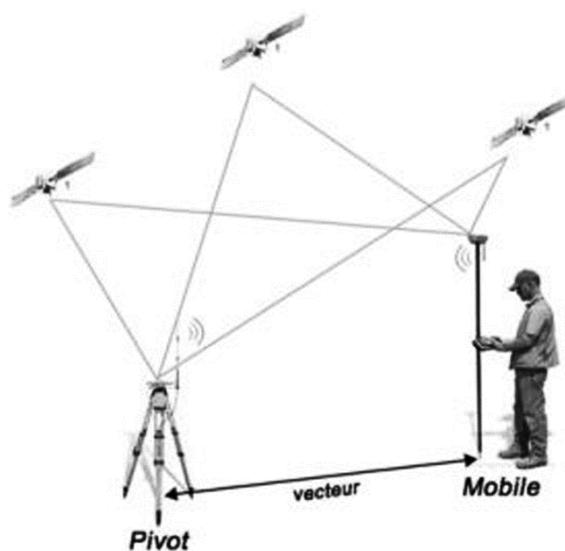


Рис. 16. Использование ГНСС в режимах статика, быстрая статика, кинематика «Stop & go», кинематика, кинематика в реальном времени (RTK) при решении задач геодезии и кадастра

Работы по модернизации навигационных спутников ведутся непрерывно с учетом развивающихся микропроцессорных и информационных технологий (рис. 17).

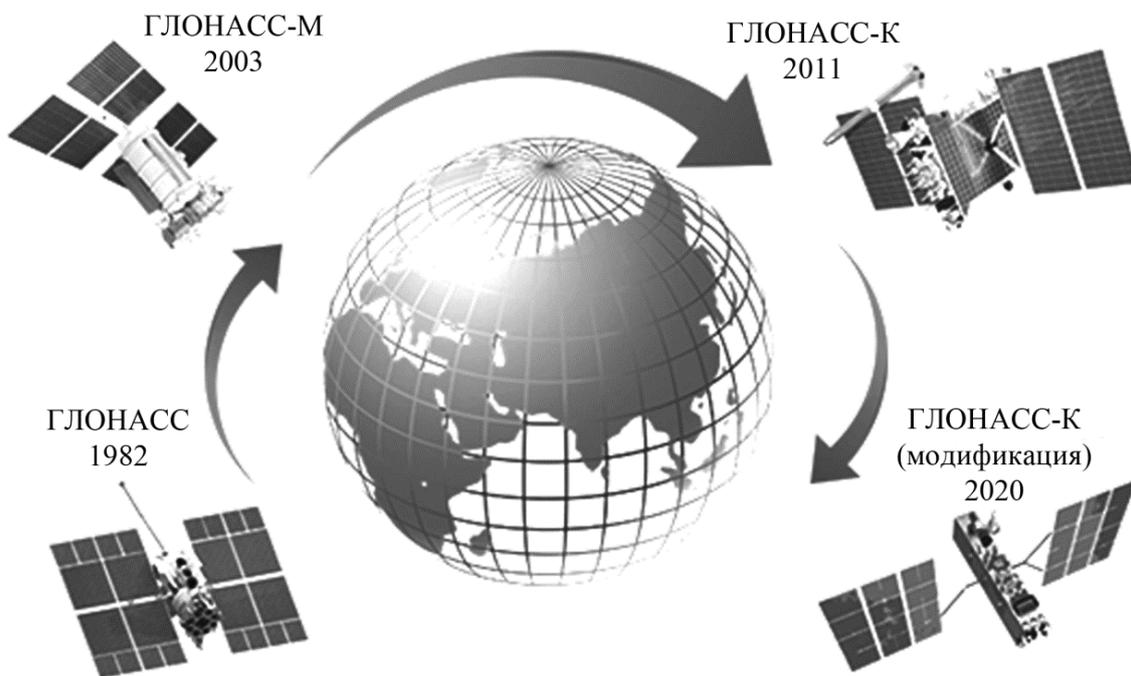


Рис. 17. Развитие навигационных спутников ГЛОНАСС

В Новосибирской области развита метрологическая сеть для тестирования различных существующих комплектов оборудования при проведении работ по ГНСС-технологиям (рис. 18).

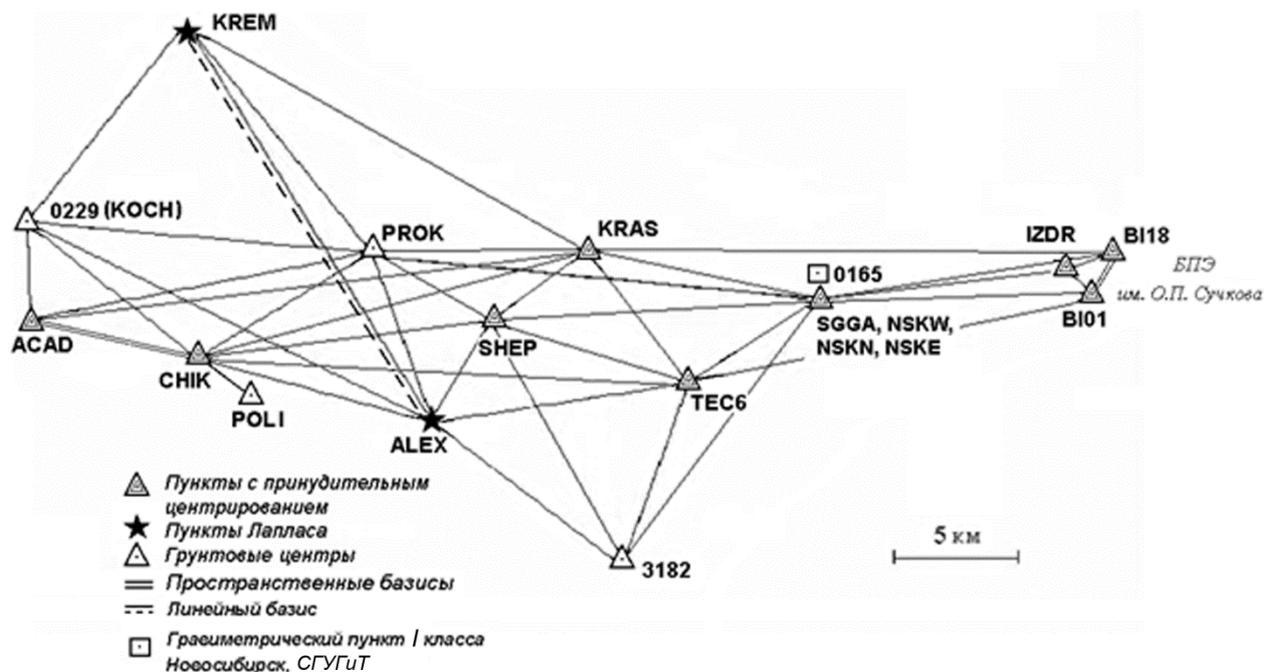


Рис. 18. Новосибирская метрологическая сеть

1.4. Разработка новых принципов, методов, технических средств и технологий геодезических измерений для определения геометрических и физических параметров Земли и ее поверхности

На качество, точность координатных определений с использованием ГНСС-технологий влияет ряд объективно существующих (мешающих) факторов природной среды, атмосферы и места установки приемника на земной поверхности (рис. 19, 20).

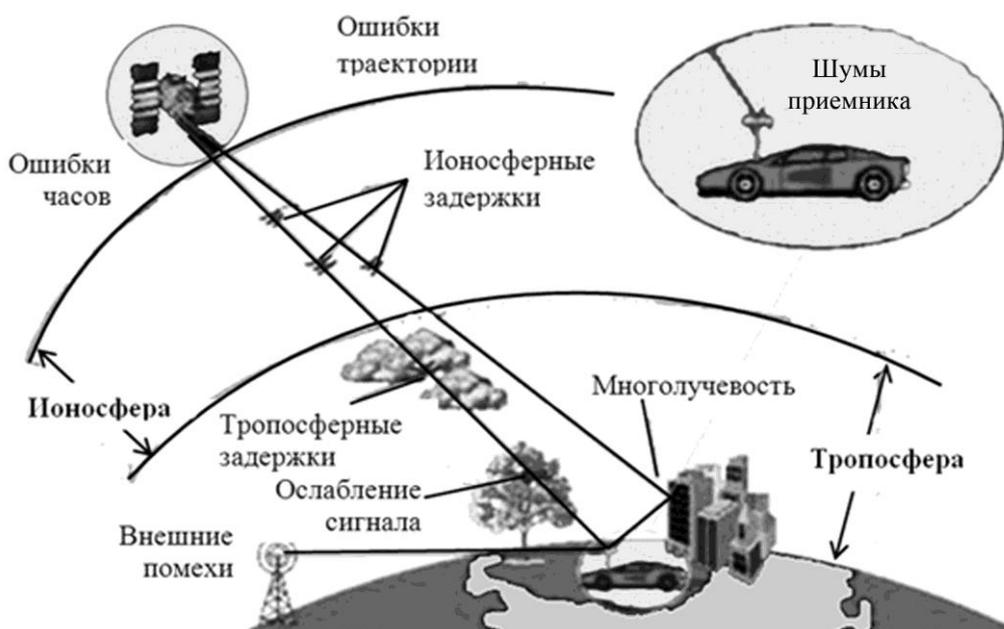


Рис. 19. Влияние различных слоев атмосферы, внешней среды

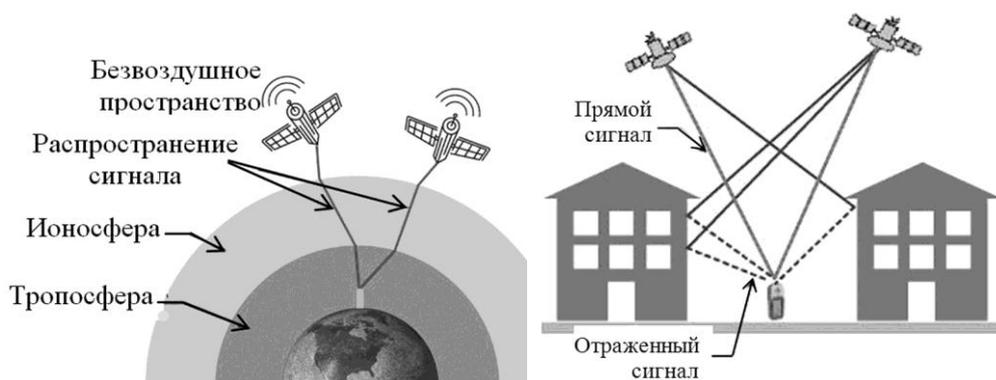


Рис. 20. Искривление пути сигнала и его отражение от зданий

Активное развитие аэрокосмических технологий координатизации точек земной поверхности, навигационного обеспечения транспорта, оборонной инфраструктуры вызывает соответствующие научные исследования. Их основным направлением является обоснование теории, методов и алгоритмов математической обработки спутниковых измерений, имеющих большие объемы. Должны, в частности, с высокой точностью уточняться орбитальные и геодезические параметры.

Так, в диссертационном исследовании [11] решаются вопросы определения кинематических параметров космического аппарата, характеристик вращения Земли, движений полюсов Земли, учета шкалы Всемирного времени, параметров различных геодезических систем координат, определения координат пунктов земной поверхности в пространстве.

Для достижения высокой точности решения этих задач необходимо рассмотреть различные математические модели описания измерений, выбрать адекватные и составить соответствующие уравнения поправок. Должен быть выполнен учет влияния внешних факторов (атмосфера), технических и физических особенностей аппаратуры спутников, меняющегося гравитационного поля, алгоритмов вычисления коэффициентов уравнений поправок и вектора свободных членов на движение спутника и результаты измерений.

Таким образом, актуальным является совершенствование теории, методов и алгоритмов координатизации по результатам современных траекторных измерений, параметров орбиты с точностью, которую возможно достичь при использовании аппаратуры ГНСС-технологий. Результатами научных исследований могут быть также рекомендации по оптимизации геодезических сетей, методик наблюдений, влияющих на уменьшение времени и производственные затраты на создание геодезической основы. Тем самым может быть более эффективным использование ГНСС-технологий для многих отраслей народного хозяйства, решения оборонных и других государственных задач.

Достижение достаточной точности ГНСС-определений осуществляется путем выявления и устранения потерь при счете циклов. Существует проблема корректного восстановления отсчетов непрерывной фазы несущей. Соответственно, нужны методики исключения больших погрешно-

стей и ошибок подсчета циклов, позволяющих контролировать фазовые спутниковые определения.

В работе [19] исследуется вариант технологического улучшения ГНСС-приемников путем оснащения их высокостабильными малогабаритными атомными стандартами частоты. Предлагается методика контроля фазовых ГНСС-измерений, которая может обеспечить их достоверную предварительную обработку. Научные исследования по созданию этой методики могут способствовать повышению точности обработки результатов спутниковых измерений по внутренней сходимости в 1,5–2 раза. Еще одним результатом является математическая модель влияния ионосферы с учетом ее региональных особенностей.

Учебное пособие [14] дает некоторые сведения о проблемах физической геодезии в настоящее время. Физическая геодезия занимается методами определения фигуры Земли и окружающего ее гравитационного поля. Научной основой физической геодезии являются законы механики, математики (функциональный анализ, случайные функции), физики, теории гравитационного потенциала. Экспериментальная часть исследований заключается в комплексном использовании результатов астрономо-геодезических, спутниковых и гравиметрических измерений. Точные модели гравитационного поля Земли, геоида необходимы для уверенного определения орбит космических аппаратов при пространственно-временных определениях с использованием ГНСС-технологий. Комплексное использование геодезических координатных и гравиметрических определений является важным фактором изучения геодинамических процессов, что будет подробно рассмотрено в разделе 3 настоящего пособия. Обработка результатов высокоточного геометрического нивелирования I и II классов в предгорных областях также требует знания регионального гравитационного поля.

Кроме гравиметрических измерений, информация о гравитационном поле Земли накапливается в результате спутниковых, альтиметрических и градиентометрических наблюдений. Примерами использования космических спутников для детального изучения гравитационного поля Земли являются уже завершённые гравиметрические миссии (проекты): GOCE (ESA), CHAMP (GFZ) GRACE (NASA). Используются космические аппараты различных конструкций (рис. 21–23).

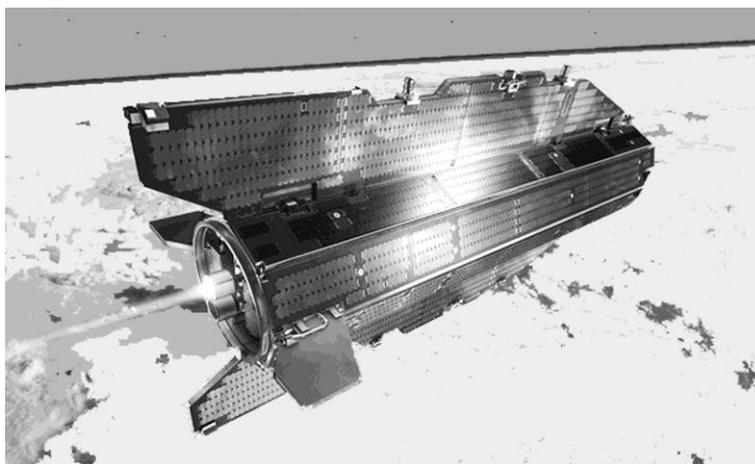


Рис. 21. Проект GOCE (ESA)

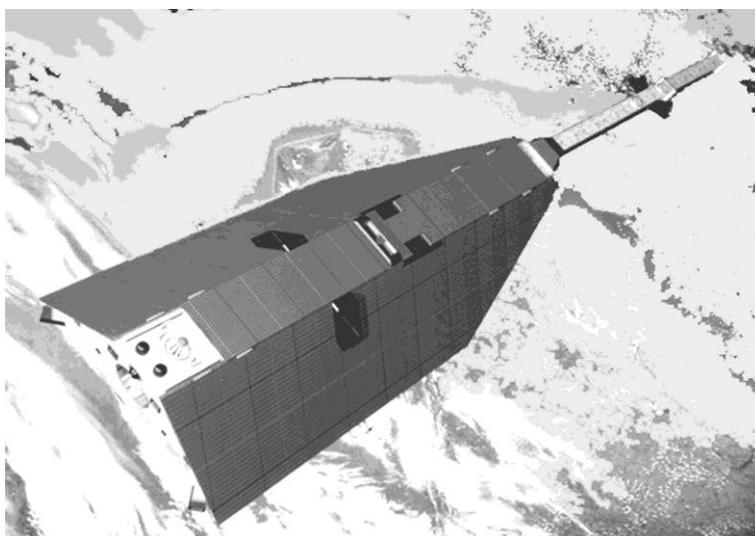


Рис. 22. Проект CHAMP (GFZ)

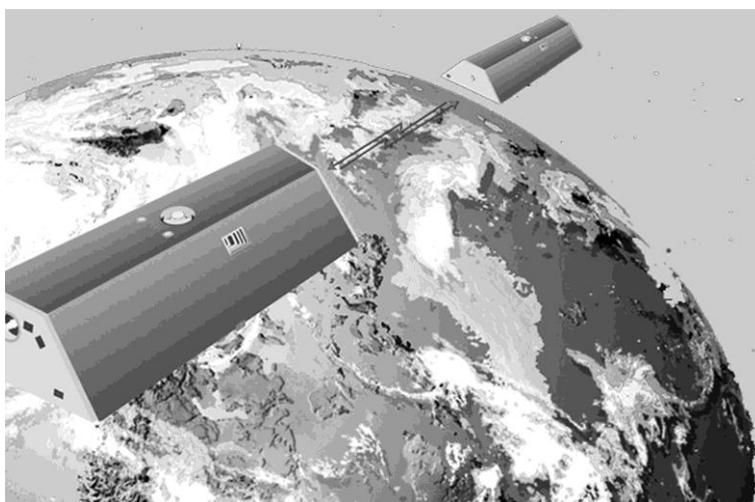


Рис. 23. Проект GRACE (NASA)

Последние десятилетия во многом характеризуются беспрецедентным техногенным воздействием человека на окружающую среду: в результате недропользования, связанного с масштабной добычей полезных ископаемых, осушения месторождений полезных ископаемых и гидротехнического строительства происходит изменение естественного напряженно-деформированного состояния верхней части земной коры, сопровождающееся соответствующими деформациями. Перемещение больших объемов рудного и нерудного сырья, вскрышной породы, подземных вод, углеводородного сырья, исчисляющихся миллиардами тонн, приводит к формированию гравитационных аномалий. Разработка месторождений полезных ископаемых, эксплуатация крупных гидроузлов и других ответственных техногенных объектов в обязательном порядке сопровождается периодическими мониторинговыми деформационными измерениями. Программа мониторинговых наблюдений включает в себя высокоточное геометрическое нивелирование реперов геодинимических полигонов, которое подразумевает введение в результаты измерений в том числе гравиметрических поправок. При этом в случае наличия значительных вариаций гравитационного поля, вызванных недропользованием, задача определения поправок за отклонения отвесной линии значительно усложняется.

Диссертационная работа [23] направлена на развитие методической и алгоритмической основы учета гравитационного влияния локальных объектов земной поверхности. Выполнен обзор и проведен анализ существующих методик моделирования гравитационного влияния пространственных тел, обоснованы цели и задачи исследований. Сделаны выводы о необходимости учета гравитационных характеристик при выполнении высокоточных геодезических и гравиметрических работ, так как их влияние сопоставимо с накапливаемыми ошибками измерений. Также обозначены основные факторы антропогенного воздействия, которые могут привести к изменению локального и регионального гравитационных полей, связанных с перераспределением больших объемов масс в районах формирования водохранилищ и добычи полезных ископаемых открытым способом. На самом деле факторов значительно больше. Это и масштабная откачка подземных вод, когда формируется депрессионная воронка диаметром в несколько десятков километров, и влияние масштабной добычи

углеводородного сырья, которая зачастую сопровождается периодической откачкой и закачкой больших объемов флюидов в межпластовое пространство, и разработка полезных ископаемых подземным способом, при этом объемы добычи на ряде месторождений сопоставимы с объемами добычи на карьерах.

Автором исследования [23] рассмотрен ряд обратных и прямых задач гравиметрии для целей геодезии. Развивается тема решения прямой задачи, которая состоит в определении характера аномалий гравитационного поля и влияния на него тел, составляющих модель, в зависимости от заданных форм, глубин, размеров, физических свойств, объемного веса геоматериала, которым сложены данные тела. Выполнен анализ различных аналитических и аппроксимационных моделей, которые используются для описания локальных гравитирующих объектов, а также для оценки влияния изменения локальной силы тяжести на результаты наблюдений.

Приводится описание аналитических моделей элементарных пространственных тел, которыми (или совокупностью которых) может быть описан конкретный природный или техногенный объект, вызывающий гравитационную аномалию. Выбор конкретных аналитических моделей гравитационного влияния пространственных тел определяется исходя из

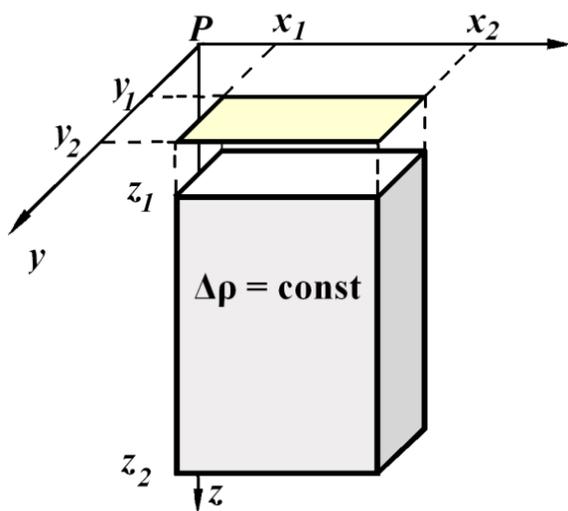


Рис. 24. Гравитирующее тело в виде параллелепипеда [23]

целей исследования и может включать однородный шар, двумерный горизонтальный слой, сферический многогранник, прямоугольный параллелепипед, сферическую призму, цилиндрическую призму и др.

Особое внимание уделяется модели параллелепипеда (рис. 24), которая позволяет проводить более качественное и методически улучшенное определение гравитационных характеристик природных и техногенных объектов.

Основой этого улучшения является более точное в совокупности

вычисление гравитационных характеристик от влияния каждого параллелепипеда по аналитическим интегральным формулам, исключая некоторые методические ошибки:

$$\Delta g = G\Delta\rho \left\| \left\| -x \ln(y+r) - y \ln(x+r) + z \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \frac{y}{r} \right| \frac{x_2}{x_1} \frac{y_2}{y_1} \frac{z_2}{z_1} \right\|, \quad (3)$$

где $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

Кроме этого, путем использования совокупности параллелепипедов или кубических элементов возможно формирование сколь угодно сложных конечно-элементных моделей природных или техногенных объектов, в том числе с неравномерным пространственным распределением плотности, для случая месторождения полезного ископаемого, например, пустая порода и руда с плотностью, различающейся в 1,5–2 раза.

В диссертационном исследовании [23] рассмотрены модели аппроксимации локальных природных и техногенных объектов пространственными телами в виде конуса и усеченного конуса, которые могут быть разбиты на слои по высоте. Однако подобными моделями не всегда возможно корректно описать объект неправильной формы, поэтому учет гравитационного влияния сложноструктурных объектов проводился методом конечных элементов. Для этого были применены современные цифровые модели, позволяющие существенно детализировать объемные тела. Используя совокупность единичных конечных элементов (рис. 25), в качестве которых были выбраны параллелепипеды, создана уточненная методика определения гравитационных характеристик локальных и природных техногенных объектов (рис. 26).

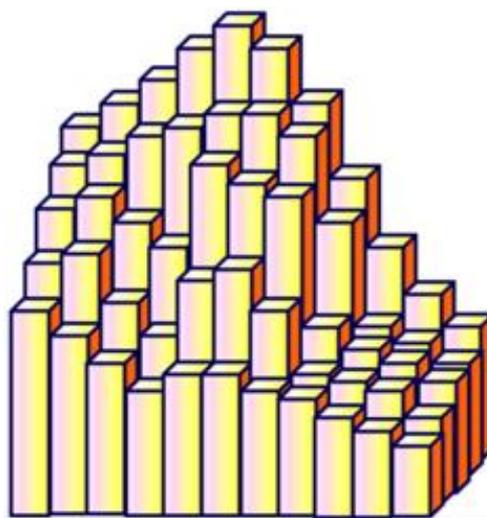


Рис. 25. Аппроксимация локального участка рельефа параллелепипедами [23]



Рис. 26. Общая схема алгоритма аппроксимации гравитационного влияния конуса как сумма влияний конечных элементов – вытянутых параллелепипедов [23]

Однако в работе [23] не решена проблема выбора единичных конечных элементов для случая разработки месторождений полезных ископаемых, когда вертикальные параллелепипеды пересекают несколько сред с различной плотностью геоматериала. Например, для сложноструктурного прибортового массива могут быть пересечения этих сред на различных глубинах с вмещающими горными породами, рудными телами, не заполненными или заполненными водой камерами, обрушенными породами или вскрышными породами, складированными в отвалах. В этих случаях целесообразно использовать модели кубических конечных элементов, а для оптимизации вычислительного процесса применять метод Монте-Карло.

Автором исследования [23] выполнена проверка разработанной методики на двух реальных природных объектах: цифровая модель рельефа участка вулкана Святой Елены (рис. 27) и береговой территории полуострова Камчатка. В ходе вычислительных экспериментов подтверждена работоспособность методики, установлена высокая точность описания с ее помощью гравиметрических характеристик объектов для учета их в геодезических измерениях.

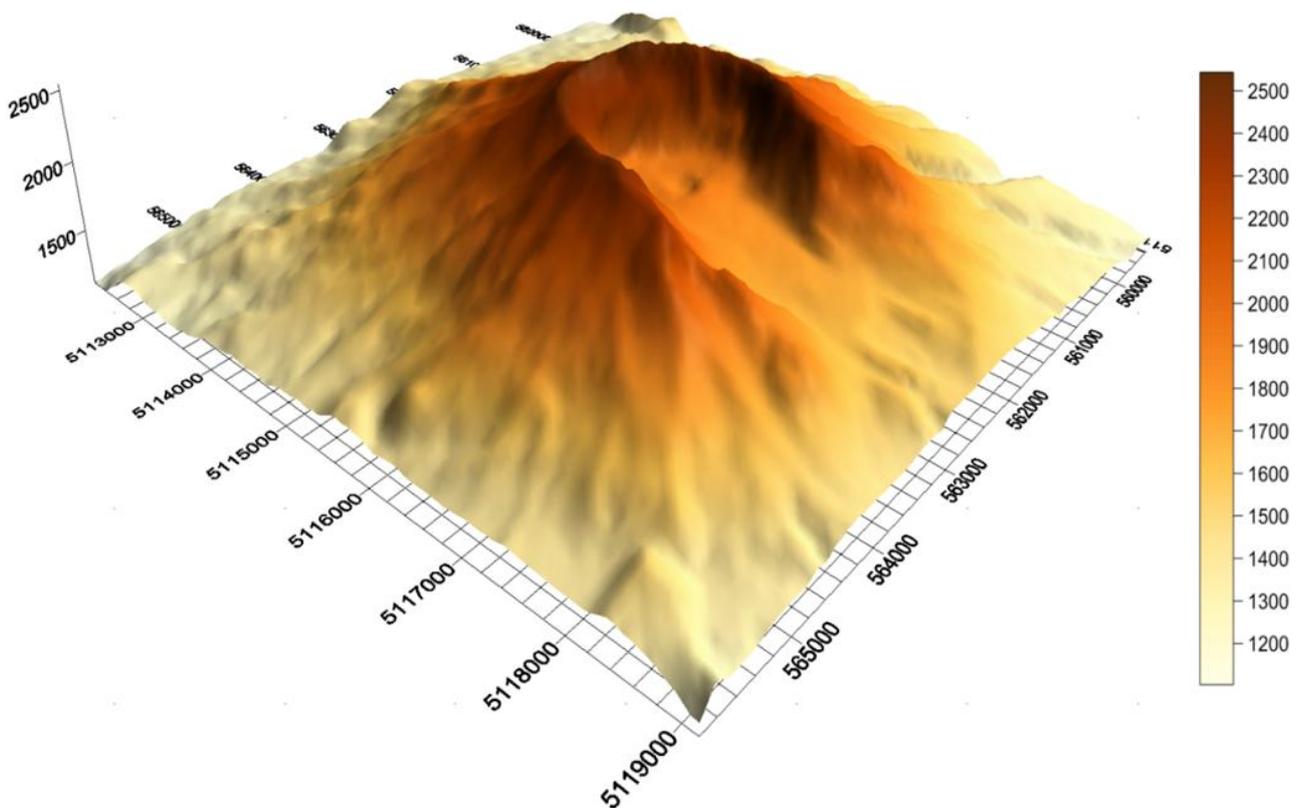


Рис. 27. Поверхность вулкана Святой Елены [23]

Научная новизна результатов исследования [23] заключается в уточнении методики определения гравитационных характеристик локальных природных и техногенных объектов с использованием аналитических, конечно-элементных и цифровых моделей рельефа, что позволяет автоматизировать вычисления и повысить точность определения параметров.

Теоретическая значимость работы [23] состоит в математическом обосновании разработанной методики определения гравитационных характеристик локальных объектов природного и техногенного характера.

Практическая значимость данного исследования определяется возможностью дальнейшего применения предлагаемой автором методики более точного учета локального гравитационного поля при проектировании геодезических сетей, геодинамических полигонов, организации полевых работ и последующей интерпретации результатов геодезических и гравиметрических наблюдений [23].

Вопросы для подготовки к промежуточному контролю (экзамену, зачету)

1. Определение параметров земного эллипсоида, геоида и гравитационного поля Земли, изменение их в пространстве и во времени.
2. Создание геодезической координатно-временной основы различного назначения с использованием геодезических, астрономических, гравиметрических и других (космических, наземных и подземных) методов измерений; оценка их степени устойчивости и характера изменений, вопросы их проектирования и оптимизации.
3. Геодезические системы координат.
4. Геодезические (глобальные) навигационные спутниковые системы и технологии.
5. Формирование активного координатно-временного пространства на основе навигационной инфраструктуры ГЛОНАСС и др.
6. Геодезические системы наземного, морского и космического базирования для определения местоположения и навигации подвижных объектов геопространства, в том числе транспорта, военной техники, людей и животных.
7. Разработка новых принципов, методов, технических средств и технологий геодезических измерений для определения геометрических и физических параметров Земли, ее поверхности, объектов, явлений и процессов на ней, в том числе для производства наземных топографических съемок.

2. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ И ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

2.1. Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительного-монтажных и изыскательских работ

2.1.1. Геодезическое обеспечение строительно-монтажных работ

Геодезическое обеспечение направлено на создание геодезических информационных ресурсов при выполнении инженерных и специальных геодезических работ [29].

При разбивке сооружений в населенных пунктах проектируемые здания и сооружения привязываются к красным линиям. При разбивке котлованов в первую очередь выполняют вынос и закрепление на местности основных разбивочных осей. Они соответствуют взаимно перпендикулярным крайним или центральным осям здания, которые обозначены в разбивочных чертежах. Затем устанавливается обноски в виде металлических или деревянных стоек и прикрепленных к ним досок, забитых в грунт. Расстояние до предполагаемого по проекту котлована – примерно 2–3 м от его бровки. Отметку верхней грани досок стараются сделать на уровне нулевой, при этом используется нивелир. Маркировка осей выполняется гвоздями или красками и нумеруется.

Порядок геодезического обеспечения работ при прокладке подземных сетей трубопроводов следующий:

- разбивка осей и закрепление на них углов поворота, основных характерных точек, например колодцев, камер;
- закрепление осей обносками с гвоздями, на которых будет выполняться натяжение стальной проволоки;

- перенос с использованием отвесов оси прокладываемой коммуникации на дно траншеи.

Для учета стока воды в открытой траншее рекомендуется прокладывать инженерные сети с началом в пониженных точках. Для контроля процесса земляных работ обычно используется метод ходовой визирки, который заключается в следующем: с использованием нивелира и рейки на определенной высоте к обноске прикрепляются две постоянные визирки. Делается это так, чтобы верхняя грань давала прямую линию, параллельную линии уклона траншеи. При этом учитывается возможность перемещения ходовой визирки между постоянными визирками. По причине быстрого выхода из строя обноска используется только в самом начале строительства. Для того чтобы сохранить основные разбивочные оси здания, их переносят на цоколь. Далее они будут использованы для переноса разбивочных осей на этажи здания. Для такого переноса отметок на этажи здания устанавливают число опорных точек в зависимости от размеров здания в плане и организации строительно-монтажных работ, но их должно быть не менее трех.

Очень востребованным методом переноса осей на монтажный горизонт при строительстве является метод вертикальной плоскости, который заключается в следующем: теодолит ставится точно в створе данной разбивочной оси, а затем его зрительную трубу ориентируют на маркер (риску), перенесенную на цоколь строящегося здания. Примерно в створе с этой осью на перекрытии данного этажа устанавливают штатив с отвесом. Вертикальную нить сетки нитей теодолита совмещают в поле зрения трубы с нитью отвеса и закрепляют трубу в вертикальной плоскости. Полученный створ позволяет зафиксировать положение разбивочной оси на перекрытии. При выполнении передачи отметок на верхние этажи необходимы рейки или подвесные рулетки, а также два нивелира: один – внизу, а второй – на монтажном горизонте, этаже.

Для фиксирования плановых или высотных проектных положений конструкций и их элементов делаются установочные риски. Это составляет суть геодезических разбивочных работ на этажах здания или сооружения.

При детальной разбивке осей далее створ разбивочной оси фиксируют в пространстве стальной проволокой или леской. На этажах выносят

не сами оси, а линии, им параллельные на типовом этаже крупнопанельного здания, с учетом смещения, обусловленного конструкцией здания и толщиной стеновых панелей.

2.1.2. Геодезическое обеспечение кадастровых работ

Кадастровые работы направлены на сбор и воспроизведение в документальном виде сведений об объектах недвижимости либо их частях, необходимых для дальнейшего кадастрового учета с последующей государственной регистрацией прав на объект недвижимости с целью образования, изменения или прекращения объектов недвижимости.

Описание положения на местности характерных точек границы земельного участка и характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке выполняется их плоскими прямоугольными координатами, вычисленными в системе координат, установленной для ведения государственного кадастра недвижимости.

Для получения координат характерных точек используются следующие методы:

- геодезический метод (триангуляция, полигонометрия, трилатерация, прямые, обратные или комбинированные засечки и иные геодезические методы);
- метод спутниковых геодезических измерений (определений);
- фотограмметрический метод;
- картометрический метод;
- аналитический метод.

Характерные точки при использовании геодезического метода и метода спутниковых геодезических измерений (ГНСС) привязываются к пунктам государственной геодезической сети и геодезических сетей специального назначения (опорные межевые сети).

Точность определения координат характерных точек оценивается путем вычисления средней квадратической погрешности. Принимается, что средняя квадратическая погрешность местоположения характерных точек

равна величине средней квадратической погрешности характерной точки, имеющей максимальное значение.

2.1.3. Геодезическое обеспечение землеустроительных работ

Землеустроительные работы направлены на установление на местности границ муниципальных и административно-территориальных образований, а также границ любых земельных участков, с закреплением таких границ межевыми знаками, и определение их координат.

Начало мероприятий по землеустройству заключается в определении местоположения объекта землеустройства и составлении или изучении плана (карты) этого объекта. Для отчета по землеустройству создается проектный план, являющийся самостоятельным землеустроительным документом. При создании планов (карт), определении координат поворотных точек, нахождении границ земельных участков, вычислении площадей, перенесении границ земельных участков на местность проводятся геодезические работы. Полевые работы заключаются в выполнении измерений на местности, далее следуют камеральные работы для математической обработки результатов полевых работ и создания различных картографических материалов. Горизонтальные и вертикальные углы, наклонные, горизонтальные и вертикальные расстояния измеряются теодолитом, тахеометром. Могут быть использованы также нивелиры, дальномеры, мерные ленты, рулетки и проволоки. При этом одновременно составляется схематический чертеж (абрис). Вычислительные этапы в настоящее время эффективно выполнять по соответствующим компьютерным программам.

Результаты геодезических работ следующие: плоские прямоугольные координаты поворотных точек границ земельного участка; горизонтальные проложения и дирекционные углы между смежными поворотными точками; площадь земельного участка. Геодезические данные показываются на плане (карте) земельного участка и плане (карте) границ земельного участка. Таким образом устанавливаются (восстанавливаются) границы земельных участков с закреплением поворотных точек межевыми знаками, определяются плоские прямоугольные координаты этих точек и дирекционных

углов направлений с одной точки на другую, вычисляются площади земельных участков. Исходной основой для геодезических работ при землеустройстве являются геодезические сети и топографические карты (планы).

2.1.4. Геодезическое обеспечение проектно-изыскательских работ

Проектно-изыскательские работы включают предпроектные работы, инженерно-изыскательские работы, разработку технико-экономических обоснований строительства и подготовку проектной, рабочей и сметной документации.

Перед началом проектирования и строительства проводятся изыскательские работы, состоящие из комплекса разнообразных исследований, выполняемых на участке, где планируется проведение строительных работ, и включающие решение задач по обследованию сооружений и зданий. Необходимо иметь достоверные сведения об объекте. В дальнейшем они будут использованы при проектировании и составлении рабочей документации на строительство.

Задачи изысканий для строительства:

- развитие геодезической сети для строительства;
- обновление существующих топографических планов и масштабных схем;
- создание топографических планов в цифровом и графическом виде, поперечных и продольных профилей линейных объектов и других материалов, предназначенных для выполнения проектных работ;
- создание различных тематических карт, атласов и планов специального назначения;
- другие специальные задачи.

На полевом этапе выполняются следующие изыскательские работы:

- проводится рекогносцировка, т. е. обследование территории, во время которого намечается план дальнейших работ и происходит поиск геодезических пунктов, реперов и марок для обеспечения выполнения работ в нужной системе координат;

- на основании найденных пунктов создаются опорная и съемочная сети для геодезического обеспечения изыскательских работ;
- с точек съемочной сети выполняется топографическая съемка в требуемом масштабе, которая включает поиск и съемку подземных коммуникаций;
- осуществляется вынос проекта в натуру, и об этом составляется соответствующий акт.

Полевые изыскательские работы заключаются в измерениях со съемочных точек. Прокладываются теодолитные ходы, и выполняется геометрическое (нивелиром) или тригонометрическое (тахеометром) нивелирование. Далее вычисляются координаты и высоты съемочных точек. На их основании выполняется дальнейшая съемка объекта с помощью тахеометра.

При изыскательских работах на линейных объектах добавляются съемка поперечных профилей и подробная съемка искусственных водоотводных и водопроводных сооружений. Производятся соответствующие измерения для составления профиля водоотводов и чертежей поперечных профилей. Изыскательские работы по определению границ участка или объекта и выносу их в натуру также выполняются с точек съемочной сети.

Камеральные работы заключаются в математической обработке результатов измерений, уравнивании ходов, расчете координат и оценке точности измерений. Итогом камеральных изыскательских работ являются цифровая модель объекта и необходимые чертежи, на которых наносится вся необходимая для проектирования и строительства информация об объекте или участке работ, об элементах ситуации, рельефе местности, о наличии подземных коммуникаций и сооружений с указанием всех технических характеристик.

После этого пишется технический отчет, в котором излагается вся информация об объекте и подробно описывается производство изыскательских работ со схемами ходов и расчетами координат. К текстовой части отчета прилагаются необходимые чертежи.

2.1.5. Геодезическое обеспечение маркшейдерских работ

Маркшейдерские работы направлены на изучение процессов деформации горных пород и земной поверхности в связи с горными работами.

Развитие маркшейдерской опорной геодезической сети опирается на пункты государственной геодезической сети и сетей сгущения. Маркшейдерскую опорную геодезическую сеть на территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия традиционно можно создавать методами триангуляции 1-го и 2-го разрядов, нивелированием III и IV классов в соответствии с требованиями действующих инструкций: «Инструкции по топографической съемке в масштабах 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 и 1 : 500», «Инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов». Большое распространение получили методы координатизации, основанные на ГНСС-технологиях, имеющие много положительных качеств, таких как оперативность, отсутствие необходимости построения наружных элементов (пирамид, сигналов) геодезических пунктов с возможностью получения требуемой точности получения их координат.

Для съемки городских (поселковых) территорий и территорий производственно-хозяйственной деятельности горных предприятий, в том числе промышленных площадок, плотность плановой опорной сети всех классов и разрядов должна быть в застроенной части не менее четырех пунктов на 1 км², в незастроенной части – не менее одного пункта на 1 км².

Плотность высотной опорной сети должна быть следующей: при съемке в масштабе 1 : 5 000 – не менее одного репера на 10–15 км²; при съемке в масштабе 1 : 2 000 незастроенных территорий – не менее одного репера на 5–7 км², застроенных и подлежащих застройке территорий – не менее одного репера на 5 км².

Для съемки горных выработок карьеров пункты маркшейдерской опорной геодезической сети располагают, как правило, на бортах карьера или в непосредственной близости от них. Необходимое количество пунктов определяют с учетом перспективы развития горных работ, размеров и глубины карьера, возможности использования их в качестве исходных для определения пунктов съемочной сети карьера.

Для обеспечения съемки открытых разработок россыпных месторождений маркшейдерские опорные геодезические сети создают, как правило, в период детальной разведки, исходя из требований, предъявляемых к съемке земной поверхности в масштабе 1 : 2 000. При длине россыпи не более 7 км опорную сеть создают в виде полигонометрии IV класса или триангуляции 1-го и 2-го разрядов. При большей протяженности россыпи создают сети триангуляции не ниже IV класса. Длины сторон треугольников и полигонометрических ходов, расположенных вдоль россыпи, следует принимать равными 1,5–2,0 км. Высоты пунктов маркшейдерской опорной геодезической сети, расположенных в непосредственной близости от месторождения, определяют, как правило, нивелированием с точностью не ниже IV класса.

Для ориентирования и центрирования подземных маркшейдерских опорных сетей в качестве подходных пунктов используют пункты триангуляции (полигонометрии) 1-го разряда или опорных сетей более высокого класса точности. Подходные пункты располагают не далее 300 м от устьев шахтных стволов. Подходной пункт и не менее двух смежных с ним пунктов опорной сети закрепляют постоянными центрами.

На промышленной площадке шахты должно быть не менее трех реперов. Кроме того, в надшахтном здании, в непосредственной близости от устья ствола, должно быть два стенных репера. Высоты реперов определяют нивелированием с точностью не ниже IV класса.

Пункты маркшейдерской опорной геодезической сети, используемые в качестве исходных для определения опорных реперов профильных линий наблюдательных станций при наблюдениях за деформацией земной поверхности, устойчивостью бортов карьеров, отвалов вскрышных пород, дамб обвалования и других сооружений гидроотвалов, шламо- и хвостохранилищ, должны располагаться в местах, обеспечивающих их устойчивость на период проведения наблюдений.

Пункты маркшейдерской опорной геодезической сети закрепляют центрами, рекомендованными для местных условий соответствующими инструкциями, а также ведомственными инструктивными и методическими указаниями.

На пунктах триангуляции 1-го разряда должны быть установлены наружные геодезические знаки (как правило, простые пирамиды и сигналы). На пунктах триангуляции 2-го разряда допускается устанавливать вехи.

При выполнении работ по созданию (реконструкции) маркшейдерской опорной геодезической сети сторонними организациями места закладки центров и реперов согласовывают с главным маркшейдером горного предприятия. Пункты маркшейдерской опорной геодезической сети, расположенные на территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия, сдают для наблюдения за сохранностью горному предприятию в порядке, предусмотренном соответствующими инструкциями.

Так, предметом исследования [20] являются геомеханические процессы при подземной отработке месторождений в геодинамически активном регионе, а также важнейшие вопросы наблюдения, прогнозирования и управления этими процессами. Эти вопросы в аспекте сложности изучения объектов недропользования, обладающих свойствами иерархичности, самоорганизации, склонных к бифуркационным проявлениям, были и остаются актуальными. Главная идея, подтверждающая востребованность темы, заключается в следующем: как достичь эффективной эксплуатации месторождений при необходимом условии ее промышленной и геодинамической безопасности? Это соответствует приоритетным направлениям развития науки и техники в России, в частности, направлению «Экология и рациональное природопользование», а задачи прогноза, снижения риска и уменьшения последствий геодинамических катастроф природного и техногенного характера, мониторинга окружающей среды включены в перечень критических технологий Российской Федерации.

Важным фактором достоверного анализа геомеханической обстановки является комплексность, т. е. учет, наряду с геодезическими и деформационными измерениями, геологических, геоморфологических и сейсмологических данных по районам изучаемых железорудных месторождений. На основе анализа экспериментального материала выполнены расчеты углов выполаживания сдвижения, радиальных и тангенциальных составляющих, а также прогноз прямых и обратных сдвижений. Это, в свою очередь, позволяет делать прогноз региональной геодинамической обстановки, в частности, прогноз горных ударов на железорудных месторождениях Сибири.

Блочное строение массива горных пород при его подработке обуславливает концентрацию деформаций на границах блоков, в 2–3 раза превышающих деформацию типового распределения по профилю в мульде сдвижения, вызывая выполаживание углов сдвижения до 40–45, и преждевременное деформирование охраняемых объектов, расположенных на границах структурных блоков.

При отработке разрезных блоков в этажах тангенциальные составляющие сдвижений в 2,5–3 раза превышают радиальные и совпадают с направлением максимальных напряжений вне зоны влияния горных разработок.

При выемке рудных запасов удароопасных месторождений на границах тектонических разломов короткопериодные смещения горных пород до 50–150 мм приводят к увеличению скоростей деформирования земной поверхности, в 2 раза и более превышающих обычный уровень, и геодинамическим явлениям в шахте с сейсмической энергией от 10² до 10⁹ Дж.

Установлена связь между формированием и проявлением горно-тектонических ударов с распределением зон сжатия вокруг выработанного пространства при увеличении напряжений вне зоны влияния горных разработок по простиранию и вкрест простирания рудных тел на 0,3 и 0,5 γ Н (0,3–0,5 коэффициент бокового отпора; γ Н – объемный вес налегающих пород, умноженный на глубину) соответственно, наличии тектонических нарушений с углом падения 5–10° и инициирующего динамические явления массового взрыва.

Изменение геодинамического состояния массива горных пород на глубинах отработки рудных тел 600–800 м и более при крупных динамических явлениях сопровождается вариациями прямых и обратных сдвижений до 50–100 мм протяженных участков вмещающих пород в периоды от 12 до 30 месяцев, которые позволяют осуществлять региональный прогноз горных ударов [20].

Исследования в данном научном направлении проводятся в соответствии с межотраслевой координационной программой «Геодинамическая безопасность» и ФЦП «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки».

Результаты используются не только на железорудных месторождениях Сибири, но и на других объектах недропользования Российской Федера-

ции. Положительным является активное использование ГНСС-наблюдений при геомеханическом мониторинге сдвижений и деформаций горных разработок и иных техногенных проявлений. Например, Таштагольский геодинамический полигон (рис. 28) создан с целью отслеживания движений земной коры в районе Таштагольского железорудного месторождения.

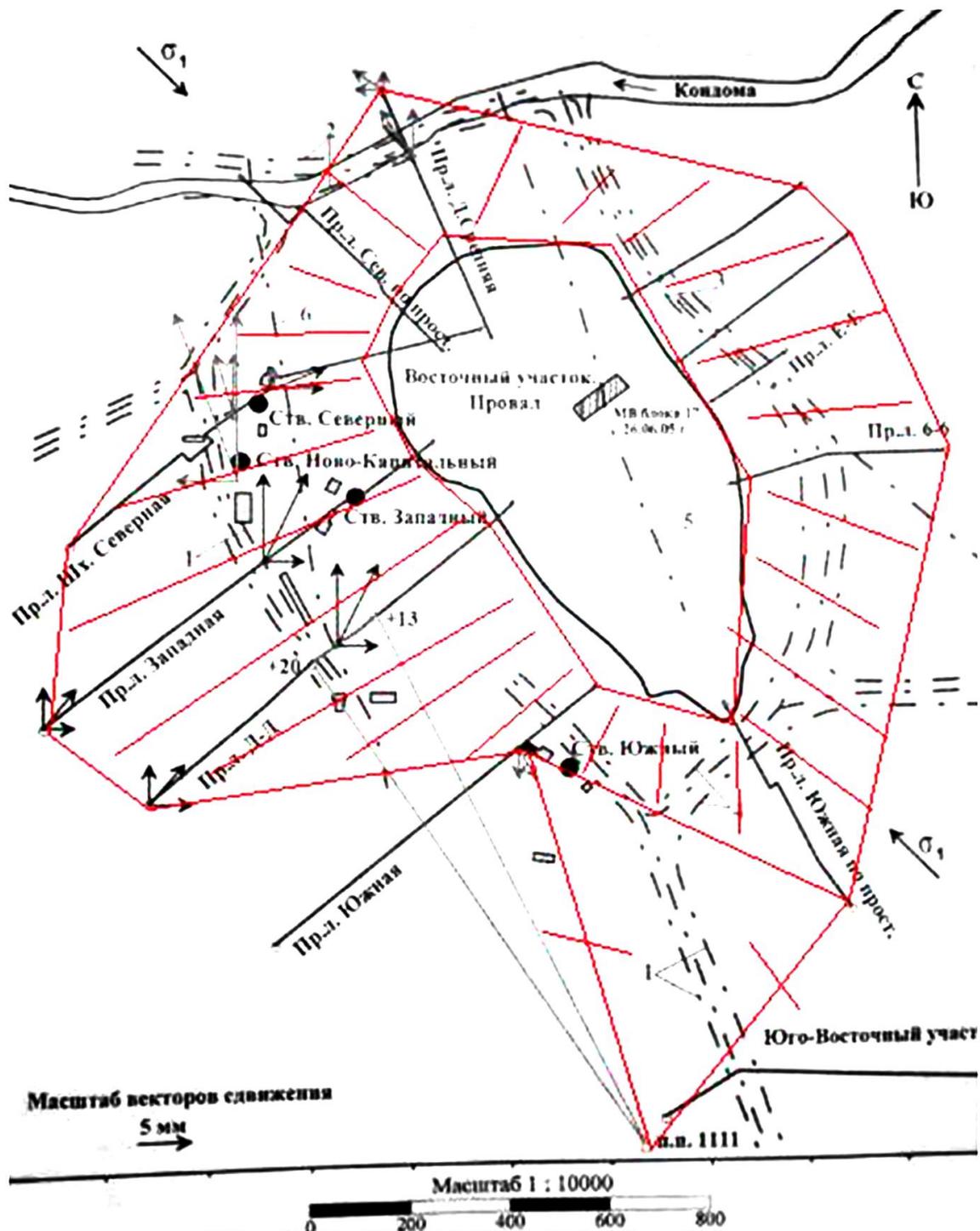


Рис. 28. Район Таштагольского железорудного месторождения

Важным условием разработки месторождения является обеспечение безопасности работ, а также сохранности сооружений. Руды накапливают существенную упругую деформацию, поэтому результаты измерений, выполняемых на полигоне, должны быть интерпретированы таким образом, чтобы полученные материалы давали полное представление о напряженно-деформируемом состоянии земной коры и геодинамических процессах, протекающих на территории промышленной площадки. На пунктах полигона выполняются систематические измерения с использованием спутниковых технологий.

2.1.6. Геодезическое обеспечение геологоразведочных работ

Геологоразведочные работы (на нефть и газ) – совокупность производственных и научно-исследовательских работ по геологическому изучению недр, выявлению перспективных территорий, открытию месторождений, их оценке и подготовке к разработке. Конечная цель геологоразведочных работ – подготовка запасов полезных ископаемых.

При выполнении геологоразведочных работ в качестве геодезической основы могут служить:

- государственные геодезические сети;
- геодезические сети сгущения;
- съемочное обоснование, выполняемое в виде плановых, высотных и планово-высотных работ и отдельных пунктов, а также в виде опорных геодезических сеток;
- четкие контурные точки месторождения, координаты которых могут быть определены по топографическим картам (планам) или фотопланам с требуемой точностью.

Геодезическое обеспечение перенесения в натуру проектного положения объектов геологических наблюдений включает в себя:

- подготовку исходных данных, составление схем и плана работ;
- измерения для определения положения в объекте наблюдений на местности;
- закрепление положения вынесенных в натуру объектов геологических наблюдений.

2.1.7. Геодезическое обеспечение лесоустроительных работ

Лесоустроительные работы (лесоустройство) – специализированный вид лесохозяйственной деятельности, обеспечивающий осуществление оценки состояния лесов, а также проектирование мероприятий, направленных на их рациональное использование, воспроизводство, охрану и защиту лесов, повышение их продуктивности и устойчивости.

Подготовительные работы проводят в год, предшествующий полевым работам. При подготовительных работах выполняют следующие мероприятия: разрабатывают основные положения организации и развития лесного хозяйства субъекта РФ; определяют существующие границы устраиваемого лесхоза, его административно-хозяйственных единиц; собирают таксационные, геодезические и планово-картографические лесоустроительные материалы прежнего лесоустройства и анализируют их; выявляют состояние окружных границ лесхоза, квартальных просек, знаков натуральных лесоустроительных и определяют требуемые объемы восстановления границ, установки квартальных столбов (взамен утраченных); составляют проект квартальной и визирной сетей при первичном лесоустройстве или уточняют его; при необходимости осуществляют подбор и обоснование лесотаксационных и иных нормативных материалов; подготавливают объекты для коллективной тренировки инженерно-технических работников; составляют смету и проект наряд-заказа на лесоустройство. Важной задачей подготовительных работ является обеспечение лесоустройства материалами аэрофотосъемки.

В период проведения полевых работ подготавливают аэрофотоснимки (фотоабрисы) к таксации леса и проводят коллективную тренировку инженеров-таксаторов, а также необходимые топографические и геодезические работы. При первичном лесоустройстве проводят разрубку границ, квартальных просек и визиров в соответствии с лесоустроительным проектом, утвержденным первым лесоустроительным совещанием, и устанавливают знаки натурные лесоустроительные. Эта работа выполняется также при повторном лесоустройстве в случае разукрупнения кварталов и при III разряде лесоустройства в целях подновления квартальной и визирной

сетей и восстановления утраченных натуральных лесоустроительных знаков. При I и II разрядах лесоустройства эти работы должны выполнять лесхозы. Проводятся таксация леса и оценка в натуре качества лесохозяйственных и других мероприятий, выполненных лесхозом в истекшем ревизионном периоде, изучаются особенности роста и состояния леса. В результате выборочного перечисления определяют состояние естественного возобновления леса и лесных культур.

Камеральные работы заключаются в обработке на персональных компьютерах собранной в полевой период таксационной информации. На ее основе заполняют ведомости запроектированных в натуре лесохозяйственных мероприятий, видов и объемов лесопользования, составляют планово-картографические лесоустроительные материалы по ГИС-технологии, формируют таксационную по выделению базу данных, совмещенную с картографической базой, разрабатывают лесоустроительный проект (проект организации и ведения лесного хозяйства).

2.1.8. Ведение кадастра

Выполняются научные исследования, направленные на развитие, совершенствование геодезического обеспечения при определении границ и площадей земельных участков. Важность методического обеспечения ведения государственного кадастра недвижимости определяется необходимостью исполнения Федерального закона от 24.07.2007 № 221-ФЗ (ред. от 30.12.2015) «О государственном кадастре недвижимости» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2016).

В диссертационном исследовании [6] обращается внимание на геодезическое обеспечение кадастровых работ на городских территориях. Обоснование комплексного подхода при организации системы проектирования, наблюдения и корректной математической обработки результатов для достижения регламентируемой точности координирования отражает актуальность представленных исследований.

Научная новизна и результаты работы [6] состоят в выбранном автором основании для предрасчета точности положения межевых знаков ценны участка. Для этого привлечены некоторые положения теории продаж,

которые развиты в отношении кадастра. Новизной можно считать некоторое развитие альтернативного алгоритма определения плоских прямоугольных координат по геодезическим. Также сделаны важные для продвижения этого метода исследования по оценке точности и проверке алгоритма на модельных и реальных объектах. Новыми являются методы оценки точности площадей объектов недвижимости по результатам разнородных измерений и описание некоторых важных технологических следствий этих методов. Также может найти применение способ вычисления координат межевых знаков и площадей участков как функций координат с использованием дополнительных точек на сторонах измеряемых участков.

2.2. Геодезическое обеспечение изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных комплексов

2.2.1. Геодезические работы в строительстве

Основными объектами строительства являются: промышленные сооружения; гражданские здания; территории населенных пунктов, на которых производятся планировка и застройка; подземные коммуникации; дороги и мостовые сооружения; гидротехнические сооружения; тоннели; линии электропередачи и магистральные трубопроводы и др.

Геодезические работы в строительстве – это измерения, последующая камеральная обработка и иллюстрация в виде чертежей, исполнительных схем. Главной задачей является обеспечение проектного размещения зданий и сооружений, конструктивных составляющих, планировки в соответствии с требуемой точностью.

Инженерные изыскания для строительных работ должны обеспечить сведения о природных условиях территории, на которой планируется выполнение строительства [28]. Результатами изысканий должны быть топографический план, на котором отражены рельеф и уже имеющиеся коммуникации, как наземные, так и подземные. Для выбора технологии создания основания, фундаментов необходимы исследования геологического

строения, геоморфологических и гидрологических свойств места застройки, состояния и свойств грунтов. Для них должны быть даны прогнозные выводы, а также экологические оценки изменения природной среды. Результаты изысканий служат основой выбора проекта строительства здания или группы зданий и сооружений, линейных в том числе. Выбор лучшего проекта строительства (оптимизация) должен быть направлен на уменьшение финансовых затрат, времени строительства при обязательном соблюдении надежности и увеличении срока эксплуатации объектов строительства. Должна быть учтена возможность последующего переустройства, расширения зданий и сооружений.

Начало строительства возможно после отвода на местности контура участка и создания (сгущения имеющегося) геодезического обоснования. Важным этапом подготовки является выбор геодезических инструментов, обеспечивающих требуемую точность инженерно-геодезических работ. В процессе строительства геодезическая служба участвует в выносе и закреплении главных и основных осей строящегося здания, сооружения, периодически контролирует состояние геодезических пунктов, при необходимости восстанавливает их. После окончания строительства готовится технический отчет о выполненных геодезических работах.

2.2.2. Решение специальных задач прикладной геодезии

Существуют специальные задачи прикладной геодезии, требующие высокоточных длительных, непрерывных и периодических оперативных измерений. Специфика эксплуатации некоторых инженерных сооружений предполагает возможность геодезического мониторинга в режиме реального времени с фиксацией результатов в автоматизированном режиме. Прямое использование традиционных и даже новейших геодезических приборов и методов не всегда эффективно.

В работе [4] предлагается использование в прикладной геодезии метода видеоизмерений. За основу метода берется компьютерная обработка изображения объекта наблюдений в стандартном телевизионном видеосигнале (рис. 29).

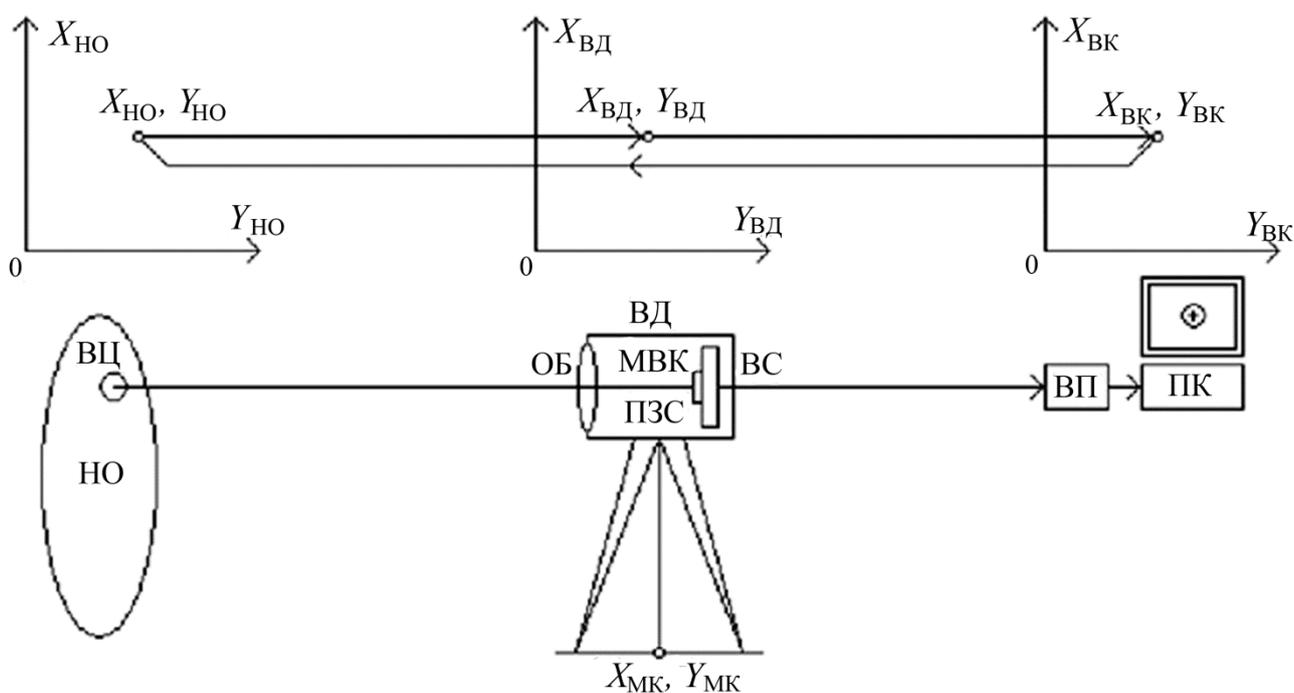


Рис. 29. Типовая схема видеоизмерительной системы:

ВД – видеодатчик; ВП – видеопроцессор; ВС – видеосигнал; ВЦ – визирная цель; МВК – модуль видеокамеры; НО – наблюдаемый объект; ОБ – объектив; ПЗС – прибор с зарядовой связью; ПК – компьютер; $X_{МК}$, $Y_{МК}$ – координаты точки наблюдения

Таковыми объектами могут быть, например, высотные сооружения, несущие балки большепролетных сооружений, подвижные объекты (корабли), антенные комплексы и др. Для их мониторинга требуется метод, обеспечивающий высокоточные измерения (с относительной погрешностью 0,01 %) и оперативность 10 измерений в секунду. При использовании такого метода должна быть учтена надежность эксплуатации уникальных сооружений.

Развитие данного направления связано с рядом задач, таких как:

- 1) теоретическое обоснование видеоизмерений для обеспечения необходимой точности;
- 2) создание математических моделей и алгоритмов;
- 3) соблюдение технологии мониторинга с использованием видеоизмерительных систем в автоматизированном режиме реального времени;

4) создание и апробация математического аппарата определения статистических и точностных характеристик ошибок видеоизмерений.

2.2.3. Геодезический контроль изготовления и установки элементов ускорительно-накопительных комплексов

Строительство и эксплуатация мировых центров (США, Германия, Франция, Япония, Россия и др.) по изучению фундаментальной физики требуют высокоточного геодезического обеспечения. Это касается, в частности, ускорительных лабораторий высоких энергий, синхрофазотронов, коллайдеров. В Новосибирском Академгородке эти научные исследования выполняются в Институте ядерной физики СО РАН (ИЯФ СО РАН) [7]. Уникальное физическое оборудование требует регулярного высокоточного (табл. 1) геодезического контроля с использованием новейших координатно-измерительных систем, лазерных технологий, 3D-моделирования.

Таблица 1

Обобщенные допуски на точность юстировки магнитных элементов ускорительных комплексов

Элемент	ΔR , мм	ΔZ , мм	ΔQ , мм	α, ω, ψ , мрад
Квадруполь	0,1–0,2	0,2	1,0	0,1
Диполь	1,0	0,2	0,5	0,1
Другие элементы	0,5	0,5	1,0	1,0

Точности, реализуемые в большинстве инженерно-геодезических работ (например, шахтное, метро- и мостостроительство), оказались недостаточными. Потребовалось создание новых методик и приборов для геодезического обеспечения строительства и эксплуатации ускорителей, что способствовало дальнейшему развитию инженерной геодезии как науки. К таким уникальным приборам относились ранее высокоточные теодолиты типа Вильд Т–3, инварные проволоки и жезлы, дистинвар, высокоточный уровенный динамоустат (ВУД). Сотрудники геодезической лаборатории ИЯФ СО РАН предложили методики прецизионного геодезического

обеспечения, в частности, контроля процессов изготовления и периодической юстировки (мониторинга) магнитных элементов ускорительных комплексов, основанных на использовании лазерного трекера API Laser Tracker 3 с точностными характеристиками.

Абсолютная погрешность определения 3-мерных координат:

- статическая: ± 5 ppm (2σ) ($25\ \mu\text{m}$) на 5 м;
- динамическая: ± 10 ppm (2σ) ($50\ \mu\text{m}$) на 5 м.

Характеристики лазерного интерферометра по дальности:

- разрешение – 1 мкм;
- точность – лучше чем 1,0 ppm.

Характеристики дальномера ADM:

- разрешение – 1 мкм;
- точность: ± 15 мкм; $\pm 0,0006''$ (15 мкм) на 5 м; $\pm 0,0012''$ (30 мкм) на 20 м.

Современные трекеры работают по единому принципу: имеются абсолютный дальномер для начальной привязки отражателя, датчики углов и интерферометр для определения расстояний в непрерывном режиме. В последнее время появились «усеченные варианты только с абсолютным дальномером».

Новейшие геодезические методы и средства измерений, которые ориентированы на использование оптико-электронных приборов, имеют следующие особенности:

- как правило, выполняются в автоматизированном режиме без непосредственного участия оператора;
- для получения окончательного результата требуется специальная процедура камеральной обработки.

Эти особенности касаются обработки облака цифровых данных (координат точек), являющихся измерительными результатами действия лазерных сканеров.

Объективный недостаток ГНСС-технологий (один из недостатков) – невозможность использования в закрытых помещениях и невозможность достижения даже миллиметровой точности определения координат. Тем самым ограничивается или даже исключается использование спутниковых навигационных систем для решения многих специальных задач инженер-

ной геодезии, когда часто требуется точность в долях миллиметра, как в случае геодезического обеспечения выверки технологического оборудования – магнитных элементов ускорительных комплексов.

2.2.4. Метрологическое обеспечение мониторинга геометрических параметров

Развитие триангуляционных методов диагностики геометрических параметров статичных и динамичных объектов актуально для современных инновационных промышленных технологий.

В работе [10] выполнены исследования и предложены технологические решения измерения геометрии с использованием прецизионных измерений по методу многопараметрической триангуляции. Практическая ценность данной работы состоит в совершенствовании оптоэлектронных систем для измерения пространственных геометрических параметров крупногабаритных объектов в производственных условиях тяжелого машиностроения и металлургии. Описаны разработанное программное обеспечение опико-электронной системы измерения 3D-геометрии крупногабаритных объектов на основе пространственно-временной модуляции источника оптического излучения и программно-аппаратная обработка данных лазерных облачных триангуляторов.

Автором [10] предложены и реализованы новые комплексные методы многопараметрической триангуляции на основе модуляции оптического источника и многомерного регрессионного анализа пространственного и временного ансамблей экспериментальных данных, обеспечившие измерение геометрических параметров статичных и динамичных объектов в фазово-неоднородных средах с рекордно малой погрешностью.

Разработаны и реализованы комплексные методы калибровки сверхточных опико-электронных триангуляционных измерителей геометрических параметров, основанные на многопараметрическом регрессионном анализе калибровочных данных, устойчивые к искажениям фазово-неоднородной среды, работоспособные как в лабораториях, так и в реальных производственных условиях.

Разработаны программно-аппаратные интерфейсы и программное обеспечение оптико-лазерных промышленных диагностических систем, реализующие методы многопараметрической триангуляции, обеспечивающие формирование баз данных с технологической и учетной информацией о контролируемых геометрических параметрах.

На основе проведенных исследований впервые создан ряд аппаратно-программных информационных диагностических систем и комплексов, реализующих методы многопараметрической триангуляции, адаптированных к характеристикам фазово-неоднородных сред, оптимально приспособленных к реальным условиям отечественного производства, успешно прошедших промышленные испытания и внедренных на металлургических и машиностроительных предприятиях России [10].

2.2.5. Геодезическое обеспечение строительства автомобильных дорог

Автомобильные дороги являются важнейшими элементами дорожной инфраструктуры государства. Транспортная стратегия России до 2030 г. планирует сгущение дорожной сети общего пользования вдвое: с 5,1 км на 1 000 человек в 2007 г. до 10 км на 1 000 человек в 2030 г. и с 42,6 км на 1 000 км² в 2007 г. до 79 км на 1 000 км² в 2030 г. Для ее реализации, в частности для изысканий, непосредственно строительства и последующей эксплуатации, обязательным является правильно организованное эффективное геодезическое обеспечение. Важным является контроль точности как планового, так и особенно высотного положения строящегося дорожного полотна. Требуется разработка методик расчета и назначения допусков производства геодезических работ, учитывающих повсеместное использование цифровых нивелиров и электронных тахеометров. Решить задачи качественного геодезического обеспечения помогут соответствующие методики, основанные на существующих российских и зарубежных разработках, принятой в геодезии классической теории ошибок, методе наименьших квадратов, статистических методах и соответствующем программном обеспечении. Обязательным является учет действующих нормативных документов и проектных значений координат строящегося автомобильного полотна [27].

2.2.6. Геодезическое обеспечение эксплуатации вантовых мостов

Многие инженерные объекты требуют регулярных наблюдений за их состоянием. Эти работы позволяют следить за объектами и обоснованно давать рекомендации по соблюдению мер безопасности. Создание транспортной системы должно обеспечивать успешное выполнение сложных информационных функций и способствовать оптимизации и рационализации управленческих решений. Важнейшими функциональными элементами транспортных систем являются мосты. Их контроль и диагностика очень важны. Сложность достоверной оценки состояния вантовых мостов вызвана конструктивными особенностями, различными воздействиями внешней среды и транспортного движения. Поэтому совершенствование методов контроля и прогнозирования состояния мостов с использованием современных измерительных и информационных технологий очень важно для реализации намеченных требований государственной инфраструктуры и имеет реальное продолжение в экологическом направлении с необходимым цифровым информационным обеспечением.

На надежность эксплуатации всякого моста влияют недостаточная жесткость конструкции, порывы ветра, перепады температуры воздуха, атмосферного давления, интенсивность движения по нему автотранспорта и его вес. При сосредоточенной нагрузке (как правило, случайной) в одной части моста может произойти сильный изгиб. Для оперативного наблюдения за динамикой вантового моста в первую очередь следует выбрать ГНСС-технологии. Спутниковые наблюдения мало зависят от погодных условий по сравнению с классическими геодезическими методами и обладают возможностью быстрого непрерывного координирования важнейших точек инженерного объекта.

Актуальными являются научные исследования по созданию алгоритмов поиска кинематических математических моделей смещений вантовых мостов, а также их динамических моделей с целью прогноза состояния вантовых мостов. Логично для этого применять различные средства измерения, например, точные тахеометры, а также спутниковые геодезические приемники.

В работе [13] приведены примеры использования ГНСС-технологий – важнейшей технологической основы непрерывного наблюдения. Некоторые сложности при создании действующей вычислительной схемы связаны с учетом внешних воздействий на вантовый мост.

Возможно создание технологии координатных определений критических точек моста с большой частотой и увеличением интервала прогнозирования их смещений. Соответственно, информация о смещениях моста представляет собой очень большие ряды данных, что при формировании моделей смещений критических точек позволяет использовать «внешние» статистические критерии, которые существенно могут увеличить интервал прогнозирования. Учет внешних воздействий также является нерешенной проблемой. На первом этапе должен быть выполнен анализ степени влияния различных факторов на динамику подвесного моста, основанный на результатах реальных наблюдений. Необходимо также проводить сравнение различных методов аппроксимации.

Конечно, могут быть использованы алгоритмы рекуррентного фильтра Калмана, традиционного метода наименьших квадратов (МНК) с матрицей коэффициентов:

$$A = \begin{pmatrix} (t_1 - t_0)^n & (t_1 - t_0)^{n-1} & \dots & 1 \\ (t_2 - t_0)^n & (t_2 - t_0)^{n-1} & \ddots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 1 \\ (t_i - t_0)^n & (t_i - t_0)^{n-1} & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Есть примеры целесообразности применения регрессионных моделей (рис. 30) с исходными уравнениями и нейронных сетей (рис. 31) к прогнозированию кинематики (динамики) с учетом внешних воздействий.

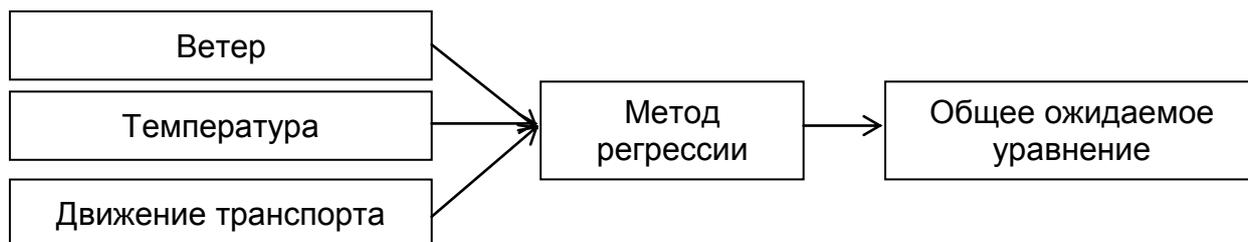


Рис. 30. Учет внешних воздействий

Исходные уравнения для регрессионных моделей следующие:

$$y = a + b_1x_{i1} + b_1x_{i2} + \dots + b_kx_{ik} + e \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (5)$$

Линейная модель

$$F(x) = a_1 + a_2F + a_3W + a_4T + a_5H, \quad (6)$$

или модель второго порядка

$$F(x) = a_1 + a_2F + a_3W + a_4T + a_5H + a_6FW + a_7FT + a_8FH + a_9WT + a_{10}WH + a_{11}HT + a_{12}F^2 + a_{13}W^2 + a_{14}T^2 + a_{15}H^2, \quad (7)$$

где F – нагрузка машин на мосты в данный момент времени, т;

W – скорость ветра, м/с;

T – температура, °С;

H – влажность, %.

Выявлено, что модели регрессии имеют возможности для отображения связи приложенных нагрузок и перемещений моста.

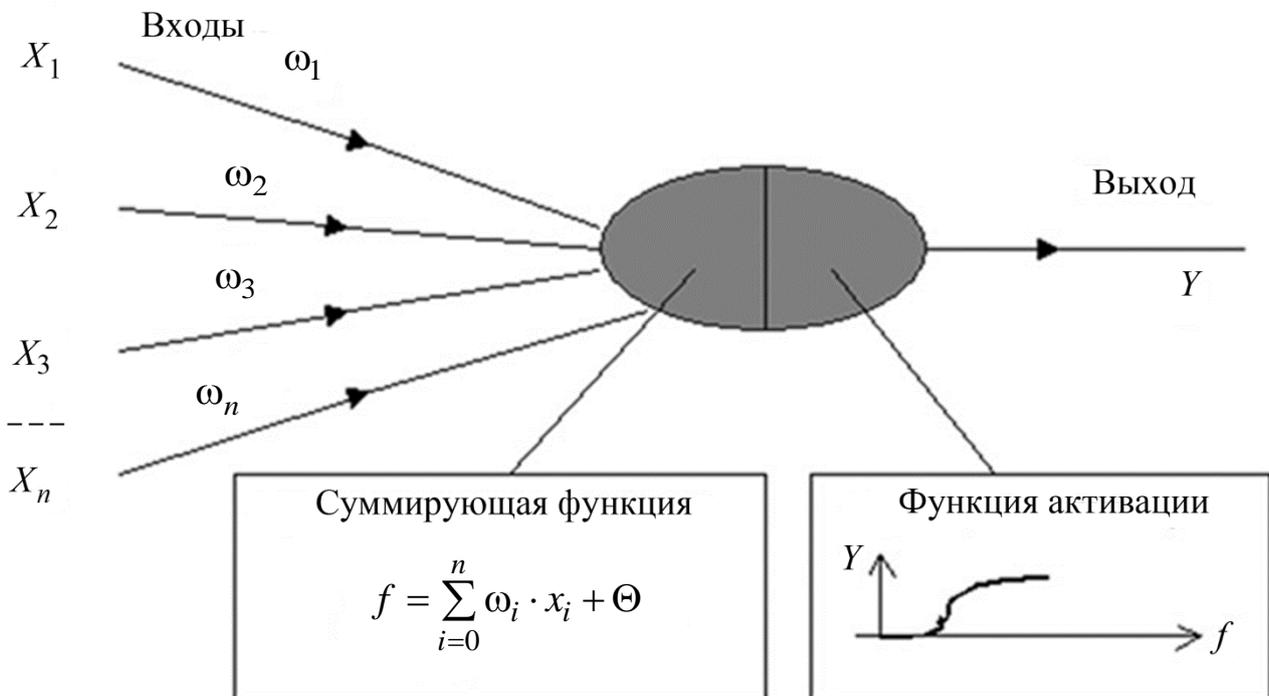


Рис. 31. Схема информационных нейронных сетей

Решение данной проблемы должно предусматривать учет конкретных условий для построения оптимальной структуры наблюдательной сети и эффективной технологии математической обработки наблюдений с целью построения прогнозных моделей и предложений по принятию организационных решений для обеспечения безопасности эксплуатации вантового моста.

2.2.7. Совершенствование методики тригонометрического нивелирования короткими лучами

Часто в практике городских и инженерных работ могут быть востребованы измерения превышения электронным тахеометром (ЭТ) методом тригонометрического нивелирования при неравенстве плеч на станции. Были проведены научные исследования [25] по созданию методики определения превышений при длине плеч нивелирования до 250 м с использованием тахеометров на уровне точности геометрического нивелирования III и IV классов. Сделаны следующие основные выводы и рекомендации:

а) средняя квадратическая ошибка измерения углов наклона в полевых условиях при использовании ЭТ с паспортной точностью $m_{\alpha} = 2,0''$ и стандартных круглых отражателей не превосходит $2,0''$;

б) средняя квадратическая ошибка измерения превышения на станции зависит от длин плеч нивелирования и в среднем составляет:

$$- m_{\text{ст}} \leq 0,50 \text{ мм при } S \leq 50 \text{ м};$$

$$- m_{\text{ст}} \leq 1,50 \text{ мм при } 50 \leq S \leq 150 \text{ м};$$

$$- m_{\text{ст}} \leq 2,20 \text{ мм при } 150 \leq S \leq 200 \text{ м};$$

$$- m_{\text{ст}} \leq 2,50 \text{ мм при } 200 \leq S \leq 250 \text{ м};$$

в) при различии высот визирных целей над земной поверхностью в пределах 0,5 м результаты тригонометрического нивелирования способом из середины могут содержать систематическую ошибку величиной от 0,4 до 1,0 мм (при расположении визирных целей в двухметровом приземном слое воздуха и длинах плеч нивелирования от 100 до 250 м);

г) при визировании на две цели (вертикальный базис), имеющие высоту над земной поверхностью порядка 1,0 и 1,7 м, средняя квадратиче-

ская ошибка измерения угла наклона несколько больше при визировании на цель, расположенную ближе к поверхности земли (на $0,3-0,6''$);

д) значение превышения, полученное из многократных измерений тахеометром при длинах плеч от 50 до 250 м, отличается от эталонного значения не более чем на 1,0 мм;

ж) необходимо, по возможности, избегать разной подстилающей поверхности при взгляде «назад» и «вперед», особенно вблизи прибора;

и) следует считать минимально допустимой высоту визирного луча над подстилающей поверхностью 1,0 м;

к) длина визирного луча при использовании ЭТ и круглых отражателей не должна превышать в пасмурную погоду 250–300 м, в солнечную погоду – 100–200 м (в зависимости от качества изображения).

Требуют изучения способы определения кренов башенных сооружений с использованием безотражательных тахеометров. Кроме того, интересны методические рекомендации определения осадки фундаментов башенных сооружений методом тригонометрического нивелирования.

Действующая инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов допускает применение цифровых нивелиров для выполнения высокоточных работ. Например, цифровой нивелир Trimble DiNi0.3, несмотря на сравнительно небольшое увеличение зрительной трубы (32X), согласно паспорту, позволяет определять превышение со средней квадратической ошибкой 0,3 мм на 1 км двойного хода. К сожалению, в действующей инструкции не изложен порядок работы на станции с системой «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка». Серьезная помеха – это отсутствие на штрих-кодовой рейке, кроме основной шкалы, второй (дополнительной) шкалы. Положительным моментом является возможность задать в программном обеспечении нивелира многократное отсчитывание по одной шкале рейки, а также установить допустимую среднеквадратическую ошибку отсчета. Отсутствие рекомендаций по работе с цифровыми нивелирами требует определения последовательности взятия отсчетов на станции при выполнении государственного и инженерно-геодезического нивелирования. Должно быть проведено исследование влияния различных факторов на точность автоматического снятия отсчетов по штрих-кодовой рейке. Цифровые нивелиры широко применяются при наблюдении за осадками фундаментов зданий и сооружений. Основным документом, регламентирующим точность

выполнения данного вида работ, является ГОСТ 24846–2012 «Грунты. Методы измерения деформаций, оснований зданий и сооружений».

При возведении зданий и сооружений требуется регулярное определение пространственного положения строительных конструкций. Такие наблюдения должны продолжаться также после завершения монтажных работ и при последующей эксплуатации. Результатами измерений в процессе строительства являются оформление исполнительной документации и контроль соблюдения геометрических параметров зданий. При эксплуатации требуется проверка стабильности положения несущих, а в отдельных случаях и ограждающих конструкций. Возможные ошибки проектирования, нарушение условий эксплуатации, форс-мажорное влияние внешней среды природного и техногенного характера (землетрясения, пожары, подтопление грунтов основания и др.) могут вызвать нарушение первоначального положения или состояния строительных конструкций. Часто причинами могут быть не согласованные с проектной организацией решения по увеличению нагрузок на перекрытия, ослаблению несущих конструкций вырезами и пр.

2.2.8. Геодезическое обеспечение строительства инженерных сооружений и их реконструкции в условиях горной местности

Строительство инженерных сооружений и их реконструкция в условиях горной местности требуют совершенствования геодезического обеспечения всех этапов возведения: проектирования, изысканий и строительства. Актуальность таких исследований обусловлена возрастающим расширением строительства инженерных сооружений в горах и предгорье.

В частности, требуют качественного улучшения крупномасштабные топографические планы. Значимым объективным фактором при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации выступает рельеф горной местности.

Естественным является стремление снизить объем строительномонтажных работ (СМР) при наличии скальных пород. Следовательно, требуется более детальное, чем предписано нормативными документами,

отображение рельефа местности на топографических планах. Таким образом можно достичь более достоверного определения объема необходимых СМР, а также обеспечить проектные организации дополнительной информацией о геометрических параметрах отдельных участков строительства в горных условиях. Эта информация в совокупности со строительными чертежами может помочь как на стадии проектирования, так и на стадии строительства выбрать наиболее оптимальный вариант расположения осей строящихся инженерных сооружений.

В настоящее время эта информация представляется, как правило, путем создания различными способами крупномасштабных топографических планов масштаба 1 : 500, а с 2012 г. – и масштаба 1 : 200. Однако они не могут в полной мере удовлетворить потребности строительства. Требуется отображение разнообразных горных форм рельефа с учетом особенностей его более детального строения и структурного состояния.

Дополнительную информацию позволит получить совершенствование технологической схемы создания крупномасштабных топографических планов, а также исполнительной съемки для целей проектирования, изысканий, строительства и последующей эксплуатации инженерных сооружений в условиях горной местности, что является актуальной научно-технической задачей.

2.2.9. Обеспечение минимальности искажений при создании картографических материалов о местности

В мире существует большое количество инженерных сооружений, гидроузлов и мест разработки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых в горной местности. В Российской Федерации, например, это объекты на Урале, Кавказе, Алтае, Западном и Восточном Саянах, в Якутии и др. В соседних странах следует отметить высокогорные инженерные объекты в Республике Кыргызстан. Для их проектирования, изыскания, строительства, реконструкции и эксплуатации необходимо геодезическое обеспечение, соответствующее конкретным объектам.

В работе [2] особое внимание уделено описанию теоретических основ алгоритмического, программного обеспечения использования стереогра-

фической проекции Гаусса. Приведены формулы связи стереографической проекции с другими геодезическими проекциями. Выполнено доведение предлагаемых автором алгоритмов до практической реализации в виде методики и компьютерных программ, имеющих зарегистрированное свидетельство.

Актуальность темы исследования [2] обусловлена повышенными требованиями к минимальности искажений при создании карт и планов местности, где выполняются проектирование, изыскание, строительство и эксплуатация, и о самом объекте строительства. Поэтому в инженерно-геологических и геофизических работах, гидроэнергостроительстве, градостроительстве, промышленном и гражданском строительстве, горно-маркшейдерских работах востребованы специальные геодезические проекции и системы координат. Конечно, это конформные проекции, оптимально подходящие при решении инженерно-геодезических задач для конкретной территории. Вопрос выбора вида и параметров (характеристик) геодезической проекции для многих инженерных объектов, городских и других работ очень актуален. Кроме учета размеров картируемой территории, в предгорных и горных районах бывает важен учет ее средней высоты над эллипсоидом.

Известно, что применение проекции Гаусса – Крюгера целесообразно для территорий, вытянутых с севера на юг, проекции Ламберта – для территорий, вытянутых с запада на восток, стереографических проекций – для территорий округлой формы. Стереографическую проекцию желательно использовать при выполнении геодезических и топографических работ, инженерных изысканий, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров и осуществлении иных специальных работ.

Требуют уточнения алгоритмы преобразования координат многих видов геодезических проекций, так как их детальность в разложении рядов уже начинает проявляться по мере перехода к созданию карт крупного масштаба.

В последнее время методические решения в основном касались введения региональных, местных систем координат. Научные исследования в области уточнения, адаптации алгоритмов геодезических проекций к со-

временному уровню геодезического приборостроения, информационных, ГНСС-технологий позволят обеспечить оперативное и достоверное получение геодезической информации для удобного использования в очень многих отраслях экономики. Выбор вида и параметров специальных геодезических проекций локальных территорий, для которых востребовано требуемое по точности инженерно-геодезическое обеспечение, недостаточно обоснован. Поэтому необходимо разработать методики выбора вида, параметров специальных геодезических проекций, обеспечивающих уменьшение линейных искажений и удобство в практическом использовании при выполнении инженерно-геодезических работ.

Вопросы для подготовки к промежуточному контролю (экзамену, зачету)

1. Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительно-монтажных, кадастровых, землеустроительных, проектно-изыскательских, маркшейдерских, геолого-разведочных и лесоустроительных работ, освоения шельфа, монтажа, юстировки и эксплуатации технологического оборудования.
2. Геодезическое обеспечение изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных комплексов, в том числе гидротехнических сооружений, атомных и тепловых электростанций, промышленных предприятий, линейных сооружений.
3. Геодезический контроль ведения технического надзора при строительстве и эксплуатации нефтегазодобывающих комплексов.

3. ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МЕТОДАМИ ГЕОДЕЗИИ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

3.1. Геодезическое обеспечение геодинамического мониторинга состояния окружающей среды методами дистанционного зондирования

Природные системы, в которых живет человеческая цивилизация, являются очень сложными. Любая попытка, любое стремление их изучения, понимания, моделирования, прогнозирования их поведения должны только приветствоваться. Последние десятилетия проходят под влиянием глобального потепления, усиления ураганных ситуаций, лесных пожаров и других катаклизмов регионального и локального масштабов. Очень эффективным способом исследований вышеперечисленных проявлений геосферы является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) по космическим снимкам высокого разрешения.

Впервые понятие «дистанционное зондирование Земли» появилось в первой половине XIX в. Первые снимки были сделаны с воздушного шара, а в 1890 г. издан первый учебник на эту тему. Следующий шаг был связан с развитием самолетостроения. В 1909 г. получены первые снимки с самолета.

Дистанционные методы исследования окружающей среды в настоящее время очень востребованы и стремительно развиваются. Очевидно, что ДЗЗ играет огромную роль в обнаружении, классификации и анализе объектов земной поверхности, атмосферы и океана, а также в научных исследованиях и народном хозяйстве (рис. 32). Современные системы ДЗЗ и области их применения описаны в прил. 7. Иллюстрации используемых космических аппаратов для изучения Земли даны в прил. 8 и 9.



Рис. 32. Обобщенная схема ДЗЗ

Современные приборы, используемые для ДЗЗ, позволяют получать информацию о регистрируемом электромагнитном излучении в удобном для оперативной компьютерной обработки цифровом виде в режиме реального времени (рис. 33).

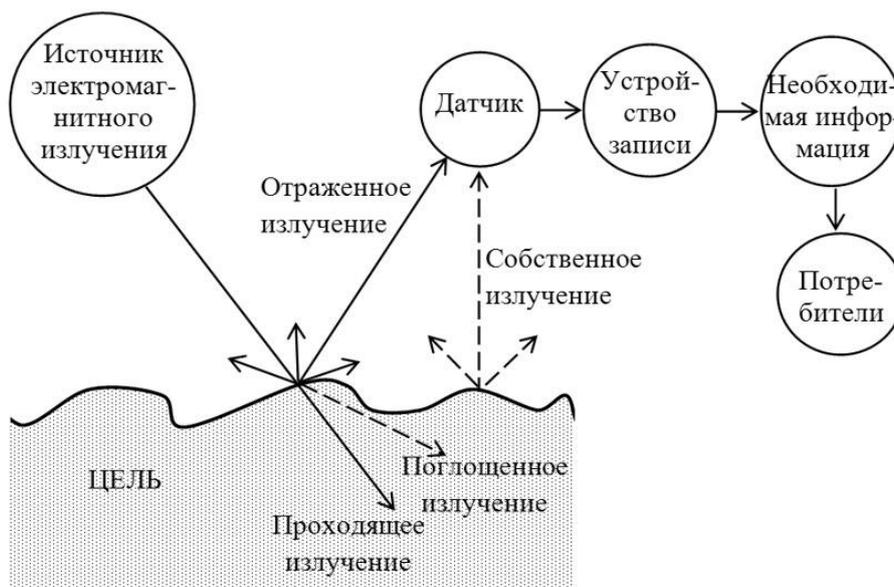


Рис. 33. Идеальная схема ДЗЗ

Существует две основные группы систем ДЗЗ: пассивные, которые регистрируют естественное излучение, и активные (радиолокационные, лазерные), которые обрабатывают отражающее излучение, сгенерированное ими самими. Лазерные системы (лидары) применяют для изучения атмосферы и океана.

Для обеспечения анализа земной поверхности используются системы как оптического, так и радарного диапазона. Чаще применяются данные оптического диапазона. Космические снимки (КС) оптического диапазона несложно обрабатывать и интерпретировать для выбранной тематики. КС, получаемые в радарном диапазоне, обладают некоторыми достоинствами по отношению к информации, получаемой в оптическом диапазоне. Для большинства территорий Российской Федерации использование космоснимков в оптическом диапазоне ограничивается в основном летним периодом. Главными причинами являются непродолжительность светлого времени суток и закрытие облаками изучаемой поверхности. На получение достаточно детальных радарных изображений не влияют внешние условия, облачность и освещенность. В основе радарных (Radio Detection and Ranging) съемочных систем лежит использование отраженных от различных объектов земной поверхности сигналов, излучаемых радаром (рис. 34).

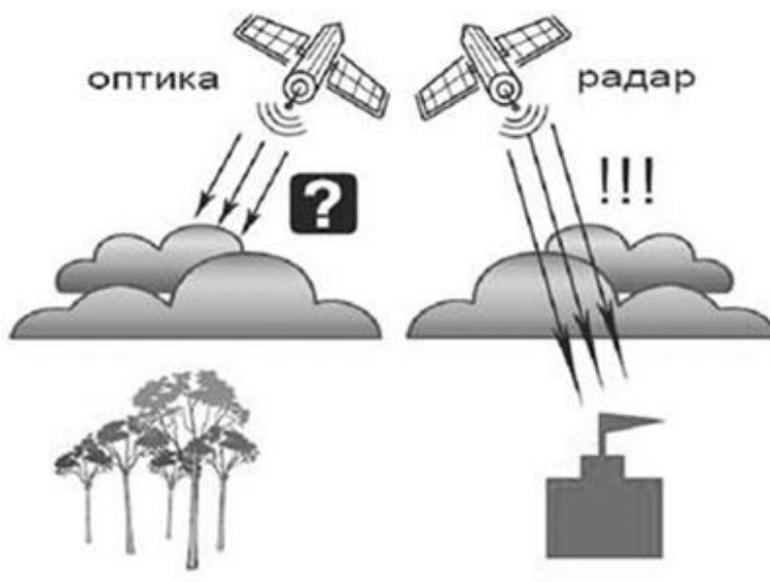


Рис. 34. Сравнение ДЗЗ в оптическом и радарном диапазонах

Радарная съемка при всей своей перспективности имеет сложности в интерпретации по сравнению с КС оптического диапазона. Актуальным является совместное использование космоснимков, полученных в оптическом и радарном диапазонах, позволяющее иметь о территории информацию с новыми свойствами.

В настоящее время такие исследования активно выполняются. Например, в диссертации [30] рассматривается возможность комплексной оценки состояния лесных земель с использованием космических снимков, полученных как в оптическом, так и в радарном диапазоне. Тем самым повышаются достоверность и скорость получения необходимой информации при влиянии факторов внешней среды и техногенных воздействиях. Актуальность этого вопроса определяется необходимостью оперативного контроля лесных пожаров, последствий строительства линейных сооружений (автодороги, нефте- и газопроводы, ЛЭП и др.), иных техногенных последствий, вырубки леса, а также важностью достоверного и оперативного получения оценки состояния лесных земель, например, после воздействия техногенных или природных факторов, которыми наносится значительный ущерб экологии и экономике многих регионов Российской Федерации.

Существующие методики учета лесных земель имеют ограничения при актуализации информации об их текущем состоянии для обеспечения оперативного предоставления достоверных данных с целью последующего учета этих земель в государственном лесном реестре. Поэтому в работе [30] предложена методика и определена структура системы мониторинга состояния лесных земель путем совместной обработки космоснимков, получаемых в оптическом и радарном диапазонах, позволяющая дистанционно получать необходимую информацию о состоянии лесных земель при низкой освещенности и облачности на территории наблюдения (рис. 35).

Мониторинг состояния лесных земель проводится на основе показателей, отраженных в табл. 2.



Рис. 35. Обобщенная схема подсистемы мониторинга лесных земель (на примере ХМАО [30])

Таблица 2

Мониторинг состояния лесных земель

Наблюдаемый процесс на лесных землях	Показатель мониторинга		Используемые данные ДЗ
	количественный	качественный	
Нарушение земель, в том числе в результате лесной вырубki или лесного пожара	Общая площадь и изменение площади в наблюдаемый период времени	Степень развития процесса	Оптический и радарный диапазоны
Захламление, в том числе порубочными остатками		Степень развития процесса	Оптический и радарный диапазоны
Подтопление		—	Оптический и радарный диапазоны

Наблюдаемый процесс на лесных землях	Показатель мониторинга		Используемые данные ДЗ
	количественный	качественный	
Проведение рекультивационных работ с посадкой лесных насаждений	Общая площадь и изменение площади в наблюдаемый период времени	Степень развития процесса	Оптический и радарный диапазоны
Загрязнение химическими веществами		Степень развития процесса	Оптический и инфракрасный диапазоны
Загрязнение нефтью и нефтепродуктами		—	Оптический и инфракрасный диапазоны

Создан алгоритм обработки комбинаций разновременных космических снимков для выявления изменения на лесных землях (рис. 36, 37) [30].



Рис. 36. Алгоритм обработки комбинаций разновременных космических снимков для выявления изменения на лесных землях



Рис. 37. Усовершенствованный алгоритм обнаружения и картографирования объектов природного и антропогенного характера

Кроме изложенного, в работе [30] уделяется внимание созданию методики и алгоритмов для автоматизации контроля состояния противопожарной вспашки путем использования ДДЗ среднего, высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, а также векторной картографической информации, дающих возможность оптимизировать мониторинг.

Использование орбитальных и воздушных носителей позволяет получать пространственные данные, являющиеся основой мониторинга окружающей среды, атмосферы и поверхности суши, океанов и морей.

Актуальной задачей экологии, эффективного природопользования и предотвращения чрезвычайных ситуаций является контроль над пожароопасной ситуацией в конкретном регионе. В частности, опасным периодом возникновения пожаров является сбор урожая зерновых культур, после которого на полях остаются солома и невспаханная зябь. Обычно контроль данной ситуации ведется наземными средствами, при этом требуется привлечение техники и людей, что связано с ощутимыми материальными и временными затратами. Эта деятельность осуществляется хозяйствующими субъектами, субсидируется самими субъектами и федераль-

ными органами власти и предполагает решение, с одной стороны, задачи контроля соблюдения правил противопожарной безопасности, с другой – задачи повышения эффективности использования бюджетных средств.

Существует необходимость создания трехмерных моделей территории и различных объектов, включая инженерные сооружения. Создавать точные и детальные 3D-модели позволяет метод лазерного сканирования непосредственно в момент съемки. Объемные изображения вместе с другими материалами об объекте или местности дают качественно новую информацию, имеющую важное значение при проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерно-технических задач, топографии и т. д. Некоторое неудобство вызывает очень большой объем информации (облако точек), вследствие чего последующая его обработка является очень длительной и трудоемкой, затрудняющей широкое внедрение в производство.

На теоретическое и методическое обоснование базовых принципов и процессов технологии лазерного сканирования направлена работа [18].

3.2. Мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры и ее поверхности, зданий и сооружений

Актуальность использования методов геодезии в проблеме изучения Земли, ее поверхности и гравитационного поля, меняющихся во времени, подтвердим словами выдающихся ученых. Известный ученый геолог В. Е. Хаин писал: «...геодезические методы являются основными при изучении современных тектонических движений и деформаций» (цит. по: [22]). Л. П. Пеллинен, ученый-геодезист, автор учебников по высшей геодезии, назвал основной научной задачей геодезии «...определение фигуры и внешнего гравитационного поля Земли и их изменений во времени» (цит. по: [21]).

На изменения влияют различные причины эндогенного и экзогенного природного происхождения, техногенные факторы как следствие разнообразной человеческой деятельности по освоению полезных ископаемых, строительства крупных промышленных объектов, водохранилищ и т. п. Они вызывают вертикальные и горизонтальные движения земной поверхности, изменение ее напряженно-деформированного состояния (НДС). Измерительная информация о таких проявлениях геодинамических про-

цессов может быть получена геодезическими методами, как классическими, так и новейшими с использованием ГНСС-технологий. Главной целью выполняемых исследований, конечно же, является прогнозирование возможных катастрофических геодинамических событий (землетрясения, извержения вулканов, оползни, сходы ледников, горные удары и проседания грунтов в области разработки полезных ископаемых и т. п.). Достижение этой цели позволяет уменьшить риск и последствия геодинамических катастроф, вызывающих разрушения зданий и сооружений, линейных объектов, объектов гидростроительства, энергетики и, самое важное, угрозу жизни и существования населения. Эти задачи входят в перечень критических технологий Российской Федерации.

Одной из задач геодезии является исследование геодинамических процессов, как природных, так и техногенных, проявляющих себя в виде движений и деформаций приповерхностного слоя земной коры. Геодезическими методами возможно количественно оценить эти проявления геодинамики, что имеет важнейшее значение при их изучении и создании адекватных математических моделей для цели прогнозирования. В то же время результаты исследований геодинамических процессов необходимо учитывать для успешного решения многих научных и научно-практических задач геодезии, таких как использование и совершенствование государственной геодезической сети как носителя государственной системы координат, изучение изменений поверхности геоида и гравитационного поля Земли во времени, использование ГНСС-определений. Известно, что повышение точности спутниковых координатных определений зависит от соответствующего повышения точности установления координатных систем. Например, точной реализацией общеземной международной отсчетной основы является координатная система International Terrestrial Reference Frame (ITRF). Кинематические характеристики ITRF соответствуют геофизической модели движения литосферных плит NNR-NUVEL1A. Однако до настоящего времени нет однозначного признания справедливости данной геофизической концепции. Есть мнения, что теоретические модели и механизмы движения литосферных плит (рис. 38) во многом еще дискуссионные и гипотетичные. Пока еще модели содержат немало произвольных допущений и не опираются на физическое моделирование, позволяющее уменьшить степень неопределенности.

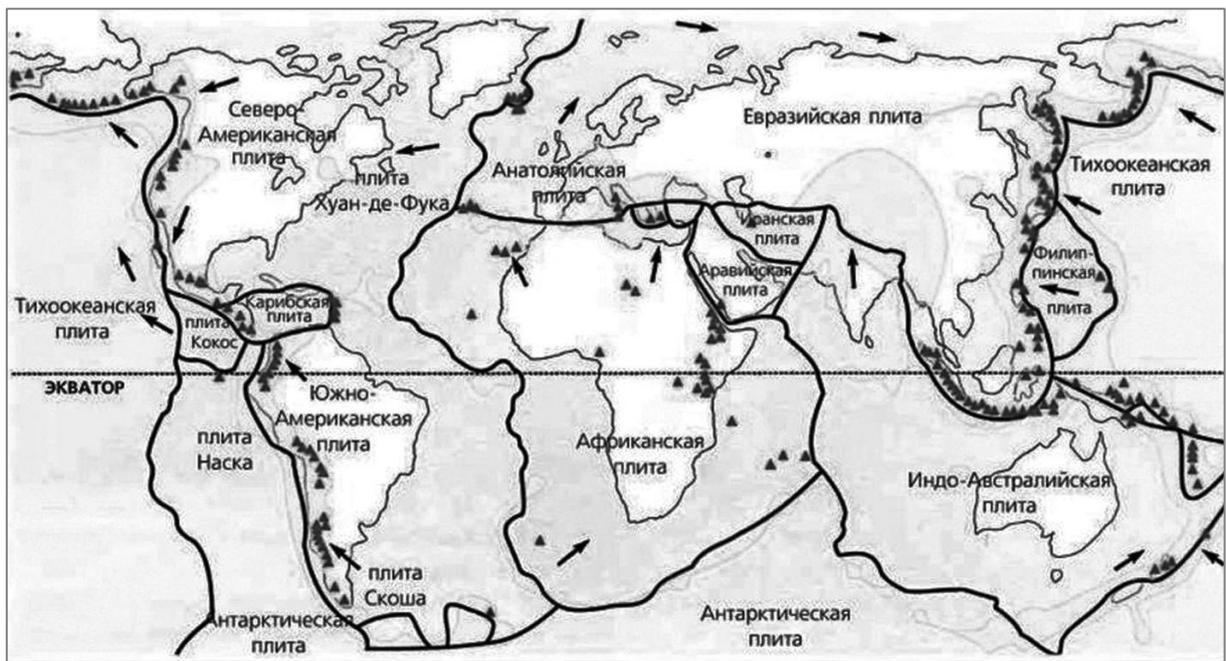


Рис. 38. Карта движения литосферных плит

Путем многолетнего анализа землетрясений определено, что 80–85 % всей сейсмической энергии Земли сосредоточено в Тихоокеанском кольце (рис. 39), а 10–15 % – в Альпийско-Гималайском поясе (рис. 40), расположенном перпендикулярно к первому.



Рис. 39. Тихоокеанское кольцо

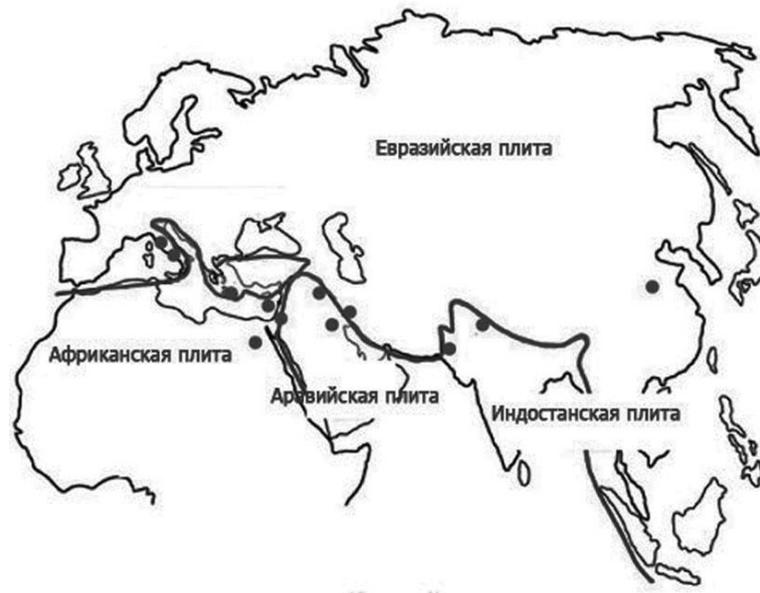


Рис. 40. Альпийско-Гималайский пояс

Известны примеры локальных трансляций, т. е. подъемов и опусканий земной коры. Таковыми являются кольцевые структуры, диапиры.

Созданы математические модели, объясняющие природу глобальных, региональных и отчасти локальных геодинамических явлений вращательными движениями блоков различного масштаба. Число примеров вихревых (вращательных) движений, определенных геодезическими методами, достаточно велико. Конечно же, это в первую очередь глобальные (рис. 41) и региональные движения.

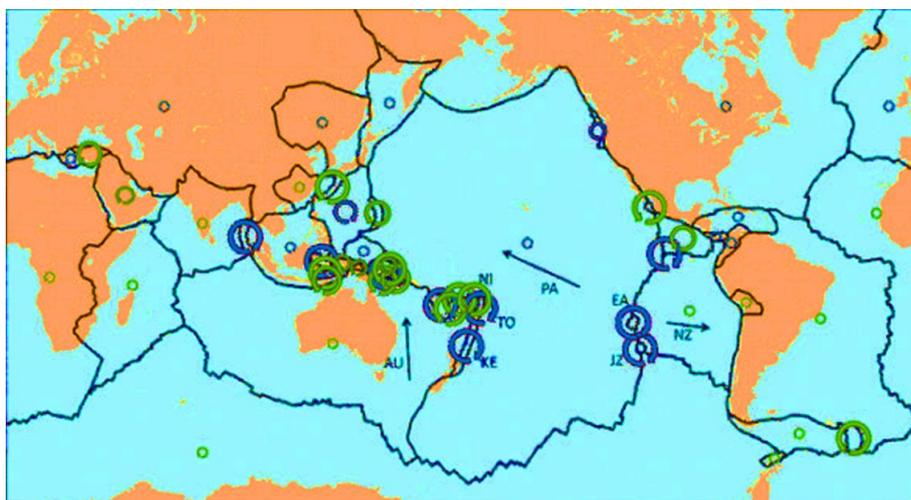


Рис. 41. Вращательные движения глобального масштаба

Стрелки на рис. 41 изображают направления движения по или против часовой стрелки. Размеры этих кольцеобразных стрелок соответствуют величинам скорости вращательного движения. Проводятся натурные наблюдения геодинамических систем регионального масштаба.

В Дальневосточном регионе России сходятся три большие тектонические плиты – Евразийская, Северо-Американская и Тихоокеанская, а также несколько «микроплит» – Охотоморская, Амурская и плита моря Беринга (рис. 42, 43).

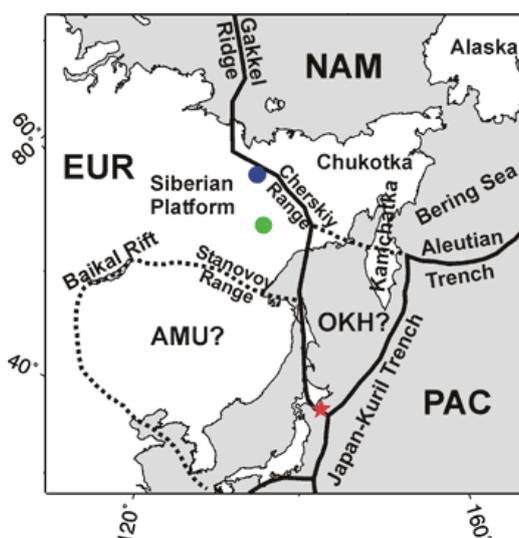


Рис. 42. Положение и границы тектонических плит на северо-востоке Азии

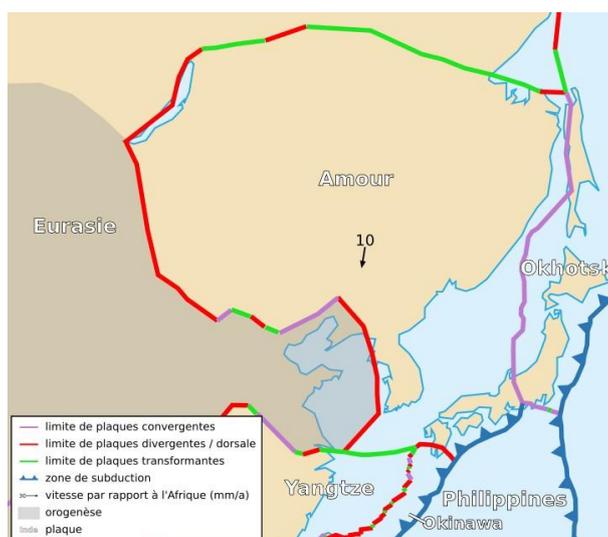


Рис. 43. Амурская плита

Теоретической основой описания взаимного перемещения плит на сферической поверхности является теорема Эйлера, которая для описания таких движений использует понятие Эйлера полюса и угловой скорости вращения (рис. 44).

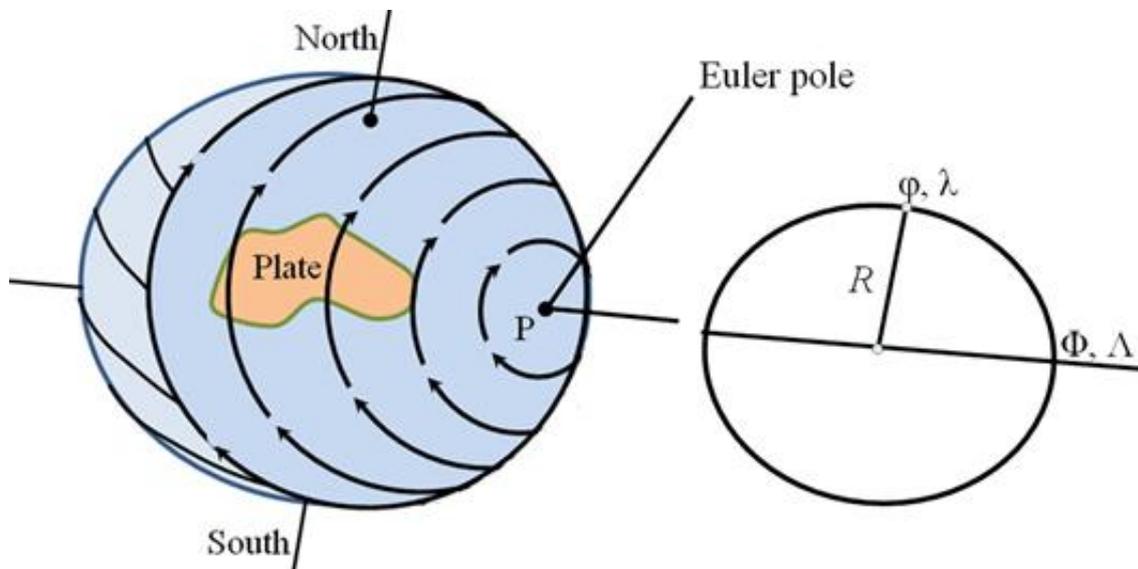


Рис. 44. Движение плиты относительно Эйлера полюса

Модель Эйлера используется для связи скоростей горизонтальных смещений пунктов с координатами φ и λ :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = R\omega \cos \Phi \sin(\lambda - \Lambda); \quad (8)$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial t} = R\omega [R\omega \Phi - \cos(\lambda - \Lambda) \operatorname{tg} \varphi \cos \Phi],$$

где Φ, Λ, ω – координаты Эйлера полюса вращения плиты и его угловая скорость;

R – радиус Земли.

Для их определения используются геодезические наблюдения. Например, оценки параметров вращения для моделей взаимных Эйлеровых вращений (табл. 3) получены по данным ГНСС-определений.

Модели движения Евразии и координаты полюса Эйлера

Модель	Широта	Долгота	Угловая скорость, млн лет
SOPAC-2008	$55,851^{\circ} \text{ N} \pm 0,53^{\circ}$	$262,622^{\circ} \text{ E} \pm 0,16^{\circ} (-97,378^{\circ} \text{ E})$	$0,263^{\circ} \pm 0,001^{\circ}$
ITRF-2008	$54,2^{\circ} \text{ N} \pm 0,7^{\circ}$	$259,3^{\circ} \text{ E} \pm 0,5^{\circ} (-100,7^{\circ} \text{ E})$	$0,251^{\circ} \pm 0,002^{\circ}$
ANI-2010	$53,1^{\circ} \text{ N} \pm 1,8^{\circ}$	$259,5^{\circ} \text{ E} \pm 0,5^{\circ} (-100,5^{\circ} \text{ E})$	$0,244^{\circ} \pm 0,002^{\circ}$

Интересный результат показала визуализация поля горизонтальных смещений на Тункинском геодинамическом полигоне (ГДП) (рис. 45), расположенном на юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны. Данные о горизонтальных смещениях поверхности были получены по результатам светодальномерных и триангуляционных по программе I класса измерений на 11 пунктах в 1975–1986 гг. Эти данные использовали для оценки вариации поля напряжений в верхней части земной коры на Тункинском ГДП.

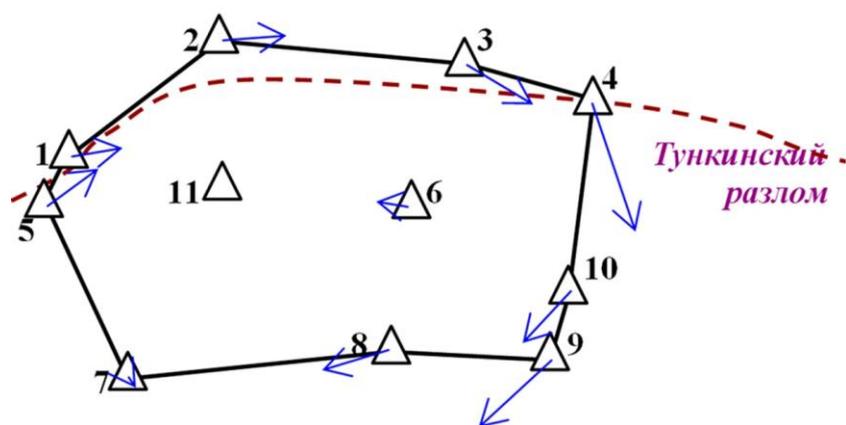


Рис. 45. Пункты триангуляции на Тункинском ГДП

С помощью конечно-элементного анализа результатов геодезических определений были получены изображения некоторых характеристик деформационных процессов на Тункинском ГДП (рис. 46–48): поле горизонтальных движений, деформирование и изменение границы, тензоры деформаций.

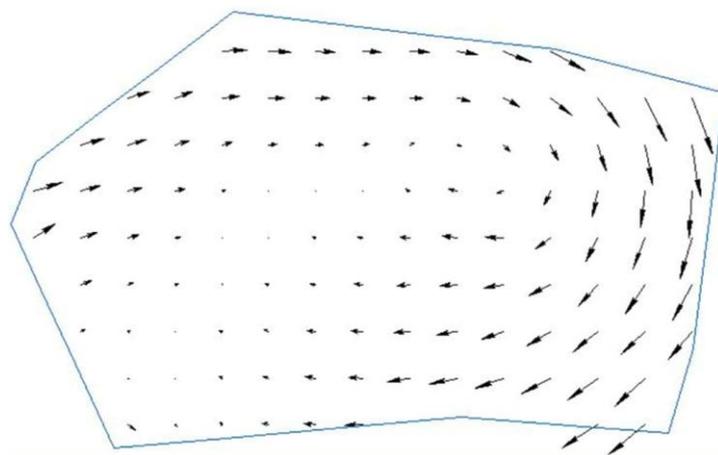


Рис. 46. Поле горизонтальных движений на Тункинском ГДП

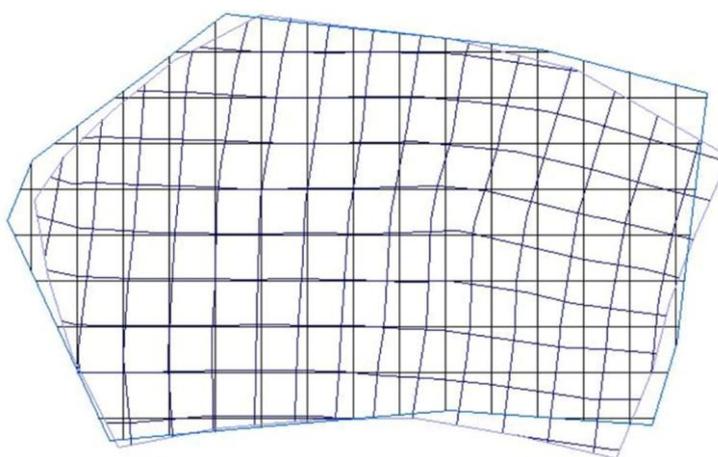


Рис. 47. Деформирование и изменение границы на Тункинском ГДП

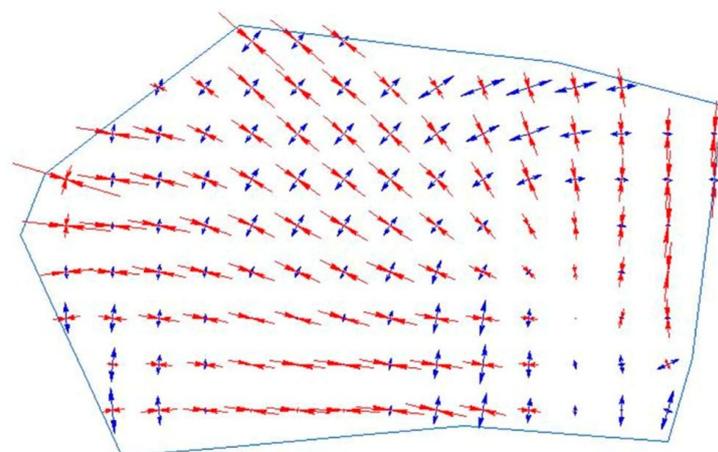


Рис. 48. Тензоры деформаций на Тункинском ГДП

Результаты визуализации позволили наглядно представить вращательный характер горизонтальных движений.

Изображение вращательного поля смещений в центральной части Горно-Алтайского ГДП (рис. 49) перед Чуйским землетрясением 2003 г. приведено на рис. 50. Данные о горизонтальных смещениях по результатам многоцикловых GPS-наблюдений были получены сотрудниками Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН.

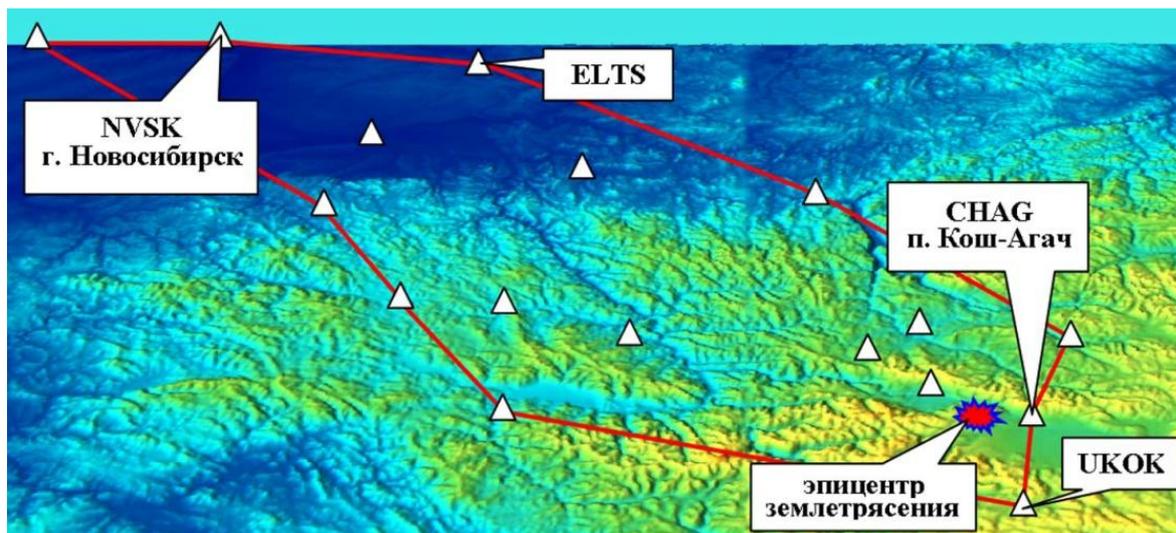


Рис. 49. Горно-Алтайский ГДП

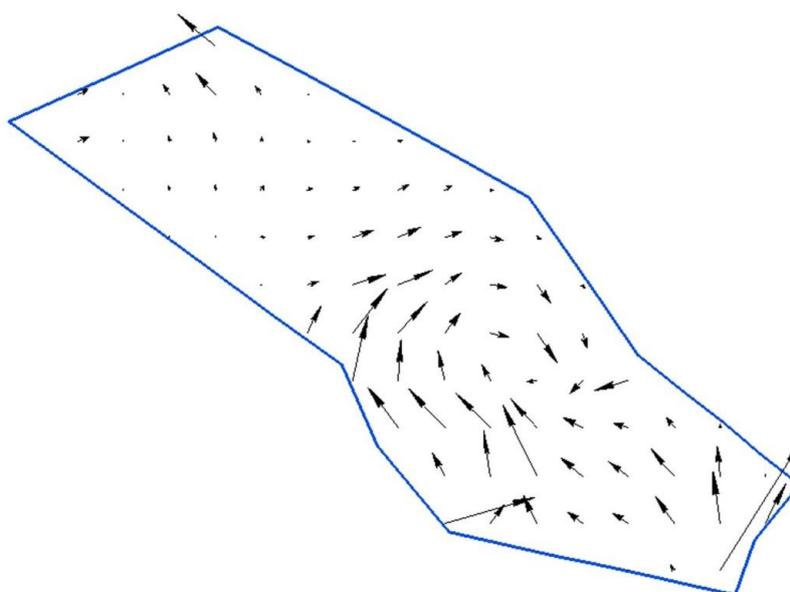


Рис. 50. Поле горизонтальных движений на Горно-Алтайском ГДП

По данным многократных геодезических наблюдений возможно также количественно оценить вращательный характер движения блока. Это заключается в определении координат центра вращения для плоскости, а для сферы – в определении координат Эйлеровых полюсов и угловой скорости вращения. Но если угловая скорость является инвариантной характеристикой, то определение координат центра только по координатам и смещениям пунктов всегда неоднозначно. Требуется назначение неподвижного (стабильного) пункта. Обычно выбор стабильного пункта делают исходя из некоторых априорных предположений, основанных, например, на геолого-геофизической информации о районе исследований.

Таким образом, выполненные к настоящему времени и продолжающиеся геодезические работы по изучению геодинамических процессов могут быть решающими для установления истинной природы геодинамики Земли, имеющей, возможно, доминирующую вращательную компоненту. Следствия этих исследований коснутся не только чисто фундаментальной науки, но и ее практических приложений.

Геодезические измерения являются эффективным инструментом изучения геодинамических процессов и позволяют выполнять количественную оценку движений земной коры. Анализ результатов повторных геодезических наблюдений имеет важное значение при решении задач прогнозирования сейсмических событий. Наиболее широкое развитие получило изучение вертикальных смещений земной коры с использованием метода повторного нивелирования, однако в последнее время выполняется все больше наблюдений за горизонтальными движениями земной поверхности. Это связано с развитием спутниковых наблюдений, благодаря ГНСС-технологиям появилась возможность получения точных данных о горизонтальных смещениях точек земной поверхности в мониторинговом режиме. Поэтому вопросы математической обработки, моделирования горизонтальных движений земной коры по пространственно-временным рядам геодезических наблюдений продолжают оставаться актуальными.

Взаимное перемещение плит, как следствие, вызывает вращения региональных и локальных блоков приповерхностного слоя земной коры. Разнонаправленные движения являются одним из предвестников предстоящего сейсмического события, и их наблюдения могут быть использованы для среднесрочного прогнозирования.

Актуальность данного вопроса связана с недостатком методик определения структуры блоков земной поверхности и их параметров вращения на основе геодезических наблюдений. В работе [12] рассмотрены вопросы моделирования движений блоков приповерхностного слоя земной коры, расположенных в пределах одной тектонической плиты (рис. 51). При размерах территории изучения горизонтальных смещений более 7–8 км используется математический аппарат, основанный на модели Эйлера движения плиты на сферической поверхности.

Результаты исследований геодинамики геодезическими методами имеют важное значение для специалистов многих наук о Земле. Особенно актуальным является достижение комплексности исследования сочетанием различных методов изучения закономерностей распределения и причин смещений земной коры, главным из которых является метод ГНСС-определений. Очень часто в качестве основного метода исследования выступает эксперимент. Именно вопросы подготовки, проектирования, организации и проведения натурных наблюдений в полевых условиях являлись главенствующими при выполнении исследований на протяжении нескольких лет (с 2000 г.) на Горно-Алтайском ГДП [3].

Степень достоверности результатов исследований вертикальных и горизонтальных движений Горного Алтая подтверждена большим объемом измерительной информации и адекватностью этим данным дислокационных моделей смещений земной коры. При проведении экспериментов использовались современные оборудование и программное обеспечение, GPS-данные, как авторские, так и от постоянных мировых станций, а также сейсмологическая информация.

Созданная геодинимическая сеть Алтая является очень хорошим примером существования геодинимических полигонов мирового класса точности. Кроме научных и методических выводов по итогам наблюдений, в этой сети есть чисто практические приложения для улучшения организации различных геодезических, геофизических, картографических, инженерно-изыскательских, дорожно-строительных и других работ. Важны эти исследования в контексте обеспечения геодинимической и промышленной безопасности юга Западной Сибири и Алтая.



Рис. 51. Схема разработанной методики изучения вращательных движений земной поверхности по результатам геодезических измерений

В последние десятилетия изучение современных движений земной поверхности на территории Сибири характеризуется широким использованием, наряду с классическими методами геодезии, ГНСС-технологий. Эти технологии позволяют выполнять быструю оценку движений земной поверхности при площади нагружения в тысячи километров, что сложно осуществить традиционными методами. Еще одна особенность нашего времени – это создание огромных техногенных объектов: рудников, шахт, водохранилищ, оказывающих значительную нагрузку на окружающую среду. Изучение техногенных воздействий на земную поверхность и их прогнозирование является серьезной проблемой. Нагружение поверхности вызывает в основном вертикальные смещения, а их многолетний мониторинг остается сложной задачей. Сейчас появляется возможность измерений вертикальных смещений различной природы, что при известной величине нагрузки позволяет оценить упругие модули геологической среды. Такой нетрадиционный метод определения эффективных упругих модулей оригинален и актуален, а полученные параметры необходимы при моделировании современных процессов. Также особенностью последних десятилетий является возможность регистрации постсейсмических деформаций, возникающих на протяжении многих лет после сильных землетрясений. Вследствие асейсмического характера постсейсмической релаксации их логично изучать лишь с применением геодезических методов. Их интенсивность, продолжительность и пространственные масштабы обычно зависят от характера подвижки, энергии землетрясения, структуры и состава земной коры, астеносферы и верхней мантии.

В работе [5] процессы затухания постсейсмических смещений и оценка вязкой реакции среды рассматриваются на основе данных спутниковых определений, полученных в регионе Алтая и Саян. Актуальность исследований заключается в том, что эффективные реологические параметры, определяемые различными методами, являются важным вкладом в физику Земли, необходимы для моделирования на разных масштабных уровнях деформирования земной коры и современных геодинамических процессов.

Вопросы для подготовки к промежуточному контролю (экзамену, зачету)

1. Геодезическое обеспечение геодинамического мониторинга состояния окружающей среды, в первую очередь, опасных процессов и явлений, способствующих возникновению кризисных ситуаций.
2. Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры и ее поверхности, зданий и сооружений, вызванного природными и техногенными факторами, с целью контроля их устойчивости, снижения риска и последствий природных и техногенных катастроф, в том числе землетрясений.
3. Аэрофотосъемка (воздушное лазерное сканирование и цифровая аэрофотосъемка).
4. Навигационное обеспечение топографо-геодезических работ и опыт их практического использования.
5. Беспилотные летательные аппараты и опыт их практического применения.
6. Технологии наземного и мобильного лазерного сканирования.
7. Современные технологии обработки геопространственных данных.
8. Современные методы ДЗЗ и области его применения.

4. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

4.1. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий на основе ГИС-технологий

Современное содержание геодезии представляет собой сочетание науки, технологий и их практической реализации, направленной на определение формы и размеров Земли, окружающего ее гравитационного поля, выполнение топографических работ и технологий картографического представления ее поверхности. Результаты геодезических работ важны для обеспечения многих государственных и региональных задач, направленных на поддержание и развитие оборонных функций, экологического равновесия, управления и т. п. Что, собственно, можно в общем виде назвать геодезическим обеспечением территорий? В работе [16] дан анализ состояния и проблемы геоинформационного обеспечения территорий.

До сих пор геодезическое обеспечение территорий носило отраслевой и картографический характер. По заявкам различных отраслей создавались территориальные картографо-геодезические фонды, использование которых геодезическими организациями других отраслей было необходимо при создании геодезических сетей различного назначения и тематического картографирования. Тем самым обеспечивалось отраслевое изучение территорий, информационное наполнение проектных и управленческих работ и создание картографо-геодезических фондов для конкретных отраслей. Последние использовались для планирования, проектирования, управления, отраслевого изучения территорий и создания картографо-геодезических отраслевых фондов. Данный процесс был трудоемким и достаточно сложным.

В настоящее время существует потребность в совершенствовании условий устойчивого развития территорий различного масштаба и степени их федерального и регионального управления.

В работе [16, с. 3] определена основная цель развития геодезического обеспечения – «потребность в интегрировании на единой пространственной основе информации различных отраслей экономики и жизни общества в общее информационное пространство, построенное на единой идеологии, единых принципах и удовлетворяющее единым требованиям». Даны характеристики современного состояния геоинформационного обеспечения, которое является важнейшей составляющей геодезического обеспечения.

1. Недостаток теоретических разработок. Имеются незавершенные дискуссионные работы по терминологии, объекту исследования геоинформатики. Разработаны методики простейшего моделирования пространственных объектов и пространственного анализа. Имеются отдельные методики пространственных решений.

2. Хорошее геоинформационное программное обеспечение, в основном удовлетворяющее современным практическим потребностям разработки и эксплуатации ГИС на этапах сбора геоинформации, преобразования проекций и систем координат, моделирования пространственных объектов, пространственного анализа.

3. ГИС создаются, в основном, для решения конкретных отраслевых задач, например, земельного и градостроительного кадастра, транспортных задач, задач предприятия нефтегазового комплекса и др. Разработке территориальных межотраслевых ГИС препятствуют межведомственные разногласия и отсутствие теоретической базы, гарантирующей значительную продолжительность жизни и развитие системы.

4. Геоинформационное обеспечение в сознании большинства специалистов, с одной стороны, тесно связано с геодезическо-картографическим обеспечением территорий и, с другой стороны, органически входит в качестве элемента информационного обеспечения всех отраслей народного хозяйства, осуществляющих свою деятельность на территориях (рис. 52).



Рис. 52. Связь геоинформационного обеспечения территории с отраслями народного хозяйства

В работе [16] сформулированы также основные проблемы геоинформационного обеспечения современного общества и территорий в Российской Федерации.

1. Отсутствие государственного органа, регулирующего геодезическую деятельность на уровне Федерации. Россия, пожалуй, единственное государство, где нет национальной службы геодезии и картографии.

2. Отсутствие регулирующего и контролирующего органа в области геодезического информационного обеспечения территорий в субъектах РФ.

3. Углубляющаяся межотраслевая разобщенность на федеральном и региональном уровнях.

4. Отсутствие нормативно-правовых актов, регулирующих геодезическую деятельность, с учетом технического и технологического прогресса в геоиндустрии.

5. Противоречия между техническим и технологическим прогрессом в области геодезии и нормативными регламентами, определяющими правила геодезического информационного обеспечения различных отраслей экономики. Существующие регламенты «запрещают» применение новейших технологий.

6. Профессиональная некомпетентность руководителей и персонала, использующих результаты геоинформационного обеспечения для решения задач соответствующей отрасли. В настоящее время в ряде регионов

России проявляются инновации в области «большой» геодезии, что стало возможно благодаря инициативным людям и поддержке ряда руководителей, даже на уровне губернаторов. Эти регионы опережают другие по ряду направлений, но для устойчивого геодезического информационного обеспечения государства, территорий и современного общества требуется грамотный системный подход на уровне государства. При этом, безусловно, важное место должно отводиться вопросам надежности и безопасности границ Российской Федерации и ее субъектов.

4.2. Принципы формирования, состав и структура геоинформационного пространства

4.2.1. Принципиальные подходы к разработке технологии определения метрических параметров территорий Российской Федерации

Для независимого государства важнейшими характеристиками являются ее размеры (площадь), широтное и долготное расположение, распределение суши и водной поверхности, как внутренней, так и территориальной, островная часть, длина и расположение границ, закрепленных согласно международным соглашениям. Для Российской Федерации такие данные отражают федеративное устройство страны. Они являются важными для каждого субъекта Федерации (краев, областей), например, для объективного понимания и планирования их успешного взаимодействия, эффективного совместного и автономного выполнения различных экономических и отраслевых проектов, статистических и социологических исследований.

Ранее используемые традиционные технологии, принципы картометрических работ, направленные на определение метрических параметров, размеров и границ территории России, сейчас должны развиваться или изменяться с учетом современных возможностей геоинформатики и с использованием геопространственных моделей. Комплексное использование информационных технологий с соответствующим программным обеспечением ГИС, цифровых геопространственных данных позволяет качест-

венно улучшить процессы моделирования географического пространства как регионов, так и государства в целом.

Такое совершенствование картометрических технологий возможно при ее автоматизации, использовании теории и методов преобразования различных систем координат, криволинейных и прямоугольных на эллипсоиде, прямоугольных на плоскости в некоторой картографической проекции. Необходимо уделить внимание статистически обоснованному снижению ошибок измерений и моделей, переходу к морфометрическим 3D-моделям. В работе [26] развиваются методики важнейшей государственной задачи – определения различных метрических параметров для территорий Российской Федерации, предлагается технологическая схема (прил. 10).

4.2.2. Геоинформационное пространство регионов

Единое геоинформационное пространство Российской Федерации имеет организационную и технологическую структуру (рис. 53) для регионов – субъектов Федерации (краев, областей) и муниципальных образований, городов (рис. 54).

В Новосибирской области создана ГИС, приложением которой является «Атлас Новосибирской области», предназначенный для обеспечения доступа граждан и организаций к информации в области кадастра, градостроительства и картографии в едином информационном пространстве.

Раздел «Кадастр» содержит информацию по кадастровым районам, кадастровым кварталам, сведения о местоположении офисов кадастровых инженеров. На карте нанесена информация о сети станций точного позиционирования. Отдельным подразделом в легенде представлены данные публичной кадастровой карты Росреестра по объектам недвижимости (земельные участки).

В разделе «Градостроительство» представлены схемы территориального планирования Новосибирской области и Новосибирской агломерации.

В разделе «Картография» отражены границы агломерации Новосибирской области, границы населенных пунктов, муниципальных образований, районов и границы Новосибирской области.

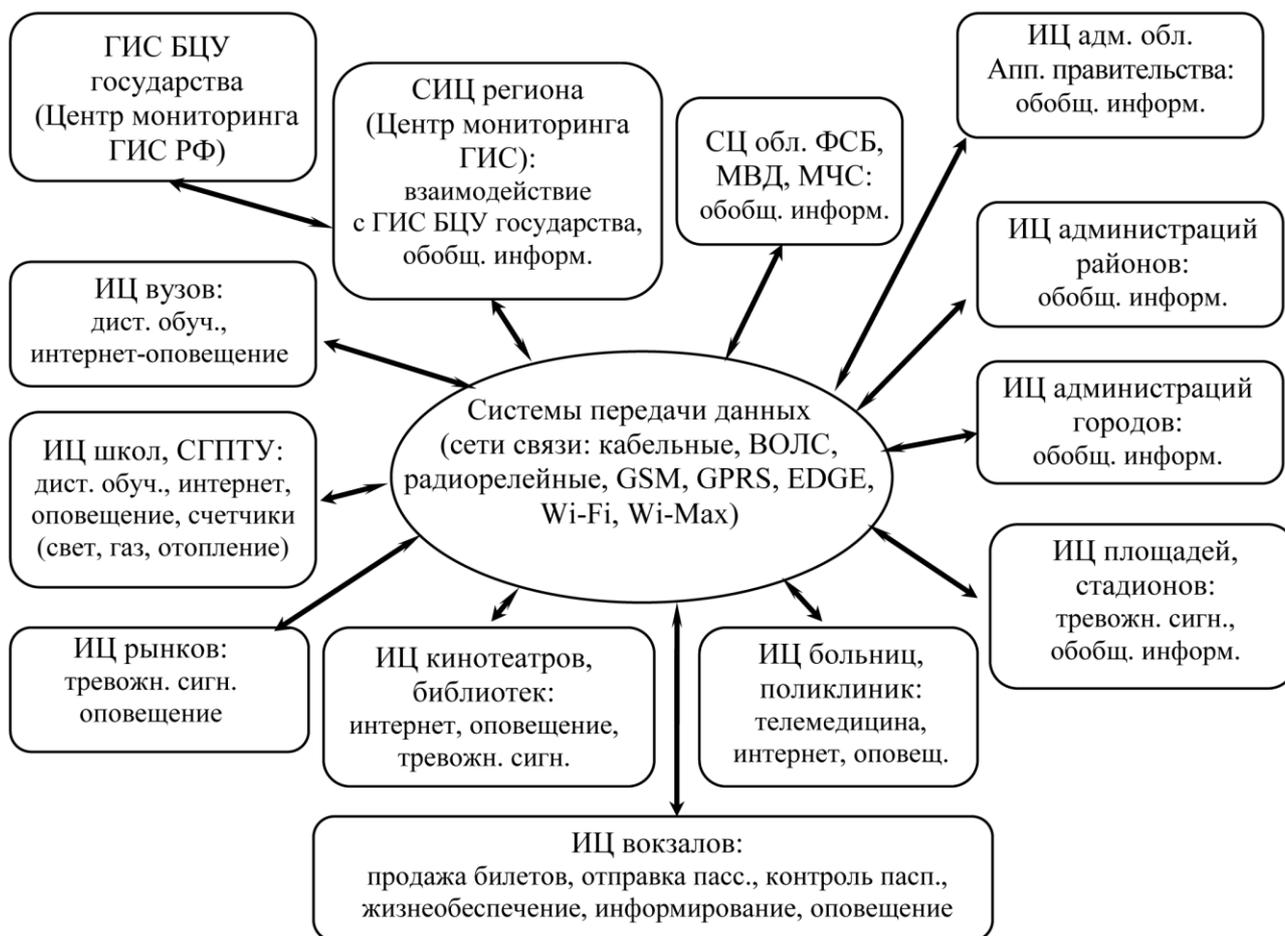


Рис. 53. Схема структуры геоинформационного обеспечения регионов



Рис. 54. Некоторые области применения ГИС в городах и муниципалитетах

Приложение «Социальное развитие Новосибирской области» предназначено для обеспечения доступа граждан и организаций к информации о деятельности Министерства социального развития Новосибирской области, для информирования населения о пространственном расположении на территории Новосибирской области, режиме работы, контактной информации территориальных органов этого министерства, государственных учреждений социального обслуживания населения, муниципальных учреждений социального обслуживания, организаций детского оздоровления, учреждений для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, организаций, осуществляющих подготовку лиц, желающих принять на воспитание ребенка, оставшегося без попечения родителей. Источником информации, публикуемой в приложении «Социальное развитие Новосибирской области», является Министерство социального развития Новосибирской области.

Приложение «Земельные участки Новосибирского района» предназначено для информирования населения о границах земельных участков района и их назначении: земельные участки, подготовленные к торгам; земельные участки коммерческого назначения и предназначенные под индивидуальное жилищное строительство; земельные участки, состоящие на государственном кадастровом учете; муниципальные образования и населенные пункты, входящие в состав Новосибирского района.

Пространственное представление вышеописанных данных в приложении позволяет наглядно оценить назначение земельных участков для принятия управленческих решений. Источником информации, публикуемой в приложении «Земельные участки Новосибирского района», является администрация Новосибирского района Новосибирской области.

Приложение «Отделы ЗАГС Новосибирской области» предназначено для информирования населения о расположении, режиме работы отделов ЗАГС города Новосибирска и Новосибирской области. Эта информация будет полезна при обращении граждан по вопросам государственной регистрации актов гражданского состояния – о рождении, заключении или расторжении брака, об установлении отцовства, усыновлении (удочерении), о перемене имени, о смерти, а также при выдаче документов из ар-

хивов отделов ЗАГС и документов, поступивших из других отделов ЗАГС. Источником информации, публикуемой в приложении «Отделы ЗАГС Новосибирской области», является Управление по делам ЗАГС Новосибирской области.

4.3. Разработка принципов и технологий создания геоинформационных систем различного назначения по геодезическим данным

4.3.1. Проектирование инфраструктуры геопространственных данных объектов автомобильных и железных дорог

Вопросам разработки и исследования оптимальных методов создания геопространственной инфраструктуры данных для проектирования, построения и эксплуатации автомобильных и железных дорог посвящена работа [17]. Научное исследование выполнено на примере активно строящихся и реконструкции существующих автомобильных и железных дорог на Дальнем Востоке, вантовых и низководных мостов. Отмечена важность знания истинной длины трассы. В проектах работ по дорогам не учтено их пространственное расположение. Следствием являются значимое ухудшение точности результатов геодезических измерений и, соответственно, ошибки определения мест строительства объектов, ухудшение качества дорожного полотна ввиду заниженного объема земляных и последующих работ. Особенно сильно эти факторы проявляются на пересеченной, всхолмленной местности. Если их не учесть, снижается безопасность эксплуатации автомобильных и железных дорог, увеличивается время передвижения транспортных средств на большие расстояния. Для решения этих задач необходимо использовать геодезические методы наблюдений, в том числе с использованием современных тахеометров, лазерных сканеров и ГНСС-технологий, а также создать геоинформационную систему, направленную на оптимизацию

инфраструктуры геоинформационного пространства в транспортных отраслях Российской Федерации.

4.3.2. Принципы и технологии создания геоинформационных систем различного назначения

Важнейшим фактором существования и экономического развития государства является наличие природных ресурсов. Их рациональное использование служит развитию как государства в целом, так и его регионов. В связи с этим правильно организованная система данных о природных ресурсах, возможность доступа к ним и их последующего экспертного анализа являются важнейшими элементами общегосударственной программы развития экономики Российской Федерации и успешного решения социальных задач.

Основой технологии создания системы сбора, анализа и преобразования информации о природных ресурсах служат достижения в области дистанционного зондирования Земли, математического моделирования и картографии. Создание такой системы способствует повышению эффективности управленческих решений в сфере добычи и использования природных ресурсов, что является важнейшей задачей для многих отраслей народного хозяйства Российской Федерации.

В научном исследовании [24] предложены концепции и методология геоинформационного моделирования и картографического представления разнообразных данных о природных ресурсах, анализа, прогноза их запасов и направлений перспективного использования. Тем самым обеспечивается возможность формирования соответствующего природно-ресурсного геоинформационного пространства локальных территорий, регионов и в целом Российской Федерации (рис. 55).



Рис. 55. Основные источники данных для формирования единого природно-ресурсного информационного пространства Российской Федерации

4.3.3. Геоинформационные системы для обеспечения исследования опасных региональных гидрометеорологических явлений

Существует некоторым образом аргументированная концепция глобального потепления. Есть факты наблюдений за состоянием льдов Антарктики, изменениями в районах вечной мерзлоты и другими явлениями, говорящие в пользу этого предположения. В любом случае актуальным является задача создания информационных систем различного назначения, учитывающих предположение о глобальном и региональном потеплении. Например, востребованы геоинформационные системы для обеспечения исследования опасных гидрометеорологических явлений (ОГМЯ) регионального масштаба.

Примером научных исследований на эту тему являются научно обоснованные подходы к проектированию, созданию и информационному наполнению региональной атласной информационной сети (АИС) ОГМЯ (на примере Уральского Прикамья (рис. 56)) [1].



Рис. 56. Логическая структура картографической базы данных АИС «ОГМЯ Уральского Прикамья»

Важность изучения ОГМЯ связана с последствиями, выраженными в неблагоприятном воздействии на многие стороны жизни человеческого общества – социальные, экономические и экологические.

В настоящее время появилась необходимость в создании методики представления в удобном для восприятия виде зон, областей проявления ОГМЯ, их частоты и интенсивности. В основе такой методики и соответствующей геоинформационной системы логично использовать картографический метод. Применение карт позволит оценивать риск возникновения опасных гидрометеорологических явлений регионального масштаба и возможных негативных последствий (чрезвычайных ситуаций).

Одним из вариантов решения этой проблемы может быть создание АИС, в которых должны быть организованы процедуры хранения, анализа и оперативного обновления информации. Необходимо также использовать функциональные возможности оперативного создания карт, пространственного моделирования, являющихся основой для решения научных и практических задач.

4.3.4. Развитие образовательных программ для геоинформационного обеспечения устойчивого развития территорий

В статье [15] предложены оценки получения и использования геопространственной информации в современных условиях развития общества. Для более успешного решения задачи управления территориями необходимо соответствующим образом изменить образовательные программы, например, создавать новые специальности, такие как геоменеджер, геоаналитик, геомаркетолог. Также предложен вариант технологической схемы геодезического геоинформационного обеспечения (рис. 57).

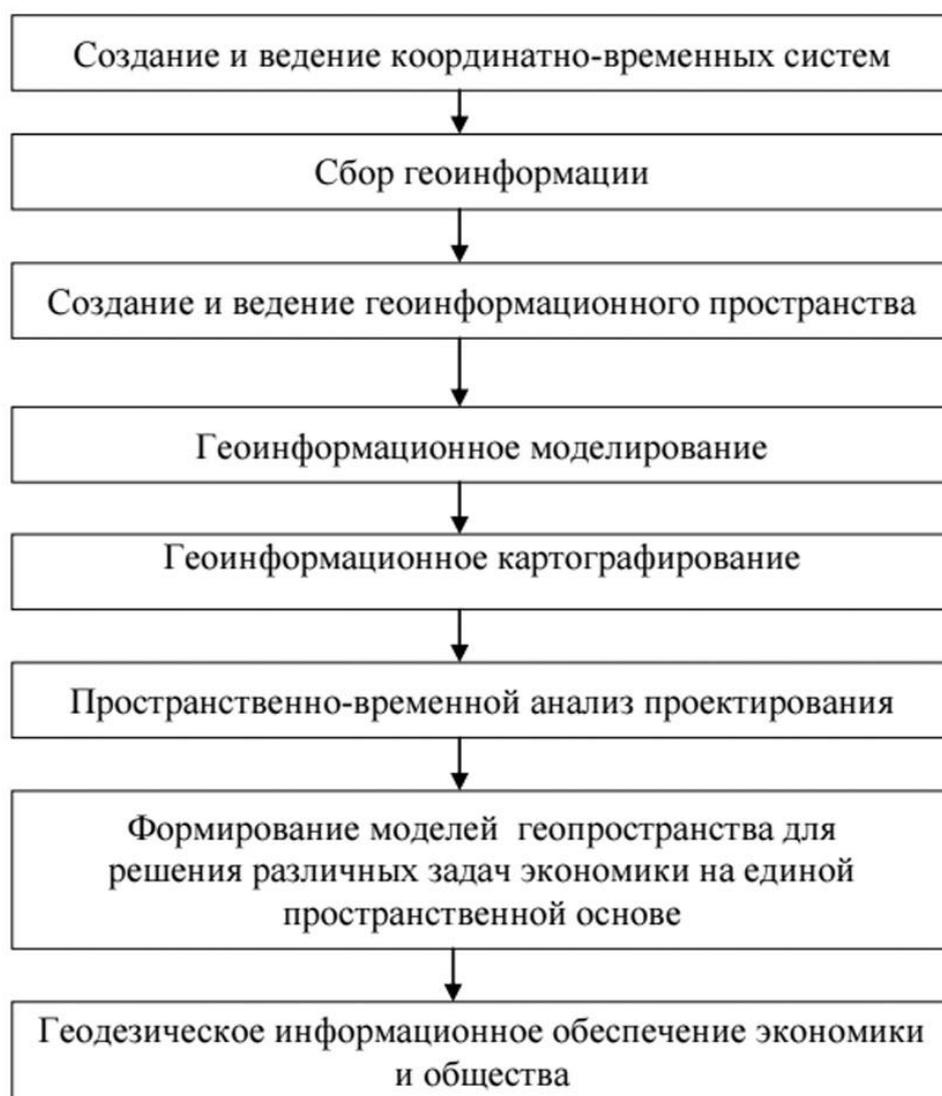


Рис. 57. Технологическая схема геодезического информационного обеспечения экономики и общества

Необходимым инструментом обработки пространственной информации является разнообразное программное обеспечение. Созданные массивы пространственной информации ложатся в основу решения многих экономических, экологических, социальных и других задач общества и государства. Должны в полной мере быть использованы возможности ГИС-технологий и интернет-порталов. Соответственно, существует потребность в подготовке квалифицированных специалистов, имеющих необходимые знания и навыки анализа, управления, маркетинга и программирования в интернет-средах. В том числе предполагается подготовка магистров по данному образовательному направлению, которые будут востребованы в различных управленческих структурах и смогут активно участвовать в развитии и укреплении экономики Российской Федерации.

Вопросы для подготовки к промежуточному контролю (экзамену, зачету)

1. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий на основе ГИС-технологий.
2. Принципы формирования, состав и структура геоинформационного пространства, отображающего совокупность пространственных характеристик территорий.
3. Разработка принципов и технологий создания геоинформационных систем различного назначения по геодезическим данным.
4. Теория и практика математической обработки результатов геодезических измерений и информационное обеспечение геодезических работ.
5. Автоматизированные технологии создания цифровых трехмерных моделей технологических объектов, процессов и явлений по геодезическим данным.
6. Современные системы накопления, обработки, хранения, передачи и использования геодезической информации, в том числе форматы геоданных, инфраструктуры и территориальные банки геопространственных данных, электронные геопространства, базы геодезических знаний, геосервисы, геослужбы, геопорталы и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное учебное пособие является результатом авторского понимания предмета «Современные проблемы геодезии и дистанционного зондирования» в соответствии с учебным планом направления подготовки 21.04.03 Геодезия и дистанционное зондирование (уровень магистратуры).

Для выпускников магистратуры предполагаются два основных пути реализации своих способностей, полученных знаний и приобретенных навыков и умений. Первый связан с производственной, практической деятельностью. Второй путь заключается в научных, исследовательских работах. В любом случае понимание актуальных вопросов развития науки и технологий необходимо для выпускника магистратуры.

Материал данного учебного пособия позволяет сориентироваться в некоторых современных проблемах геодезии и дистанционного зондирования. Для более углубленного изучения рекомендуется использовать монографии и научные публикации в периодических изданиях России и иностранных журналах. В России это такие журналы, как «Вестник СГУГиТ», «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», «Геодезия и картография». В них регулярно публикуются новые достижения ученых России и других стран. Особое внимание уделяется междисциплинарному развитию геодезии («Большие данные» [15]), применению мультисенсорных систем и беспилотных летательных аппаратов, автоматизации высокоточных методов сбора пространственной информации, интеллектуальному геодезическому мониторингу и др. Современные публикации подтверждают высокий уровень интереса к решению проблем геодезии и их актуальность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдуллин Р. К. Региональная атласная информационная система опасных гидрометеорологических явлений (на примере Уральского Прикамья) : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.33. – Пермь, 2017. – 179 с.
2. Абжапарова Д. А. Решение инженерно-геодезических задач в горной местности с использованием специальных геодезических проекций // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 90–100.
3. Ардюков Д. Г. Поля смещений и параметры сейсмического разрыва по GPS данным (на примере Чуйского землетрясения, Горный Алтай) : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 22.00.10. – Новосибирск : ИНГиГ СО РАН, 2009. – 156 с.
4. Баюкян С. П. Разработка теоретических основ и методов решения специальных задач прикладной геодезии на основе видеоизмерений : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.32. – М. : МИИГАиК, 2017. – 39 с.
5. Бойко Е. В. Вращения и деформации блоков земной коры по данным космической геодезии (Байкальский рифт и Дальний Восток) : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 22.00.10. – Новосибирск : ИНГиГ СО РАН, 2012. – 176 с.
6. Брынь М. Я. Разработка методов повышения точности геодезического обеспечения городского кадастра : дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.32. – СПб. : Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – 274 с.
7. Буренков Д. Б. Разработка методики геодезического контроля изготовления и установки элементов ускорительно-накопительных комплексов с использованием API Laser Tracker 3 : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 142 с.
8. Виноградов А. В. Методология определения площадей территорий на поверхностях эллипсоидов с изменяемыми параметрами : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.32. – СПб. : Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – 39 с.
9. Виноградов А. В., Мазуров Б. Т. Перспективы использования специальных геодезических проекций и местных систем координат // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 18–29.

10. Двойнишников С. В. Многопараметрическая триангуляция геометрии динамических объектов в фазово-неоднородных средах : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.18 – Новосибирск : Институт теплофизики, 2016. – 399 с.
11. Дударев В. И. Развитие теории и методов определения пространственных координат наземных пунктов по результатам траекторных измерений спутников : дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 295 с.
12. Дорогова И. Е. Методика определения вращательных движений блоковых структур земной поверхности по результатам геодезических наблюдений : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 295 с.
13. Зарзура Фавзи Хамед Фавзи. Методика прогнозирования деформаций вантовых мостов по данным ГНСС-измерений : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 162 с.
14. Канушин В. Ф., Ганагина И. Г. Современные проблемы физической геодезии : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 123 с.
15. Карпик А. П., Майоров А. А., Горобцова О. В. Современные образовательные тренды в геоиндустрии // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – С. 3–7.
16. Карпик А. П. Анализ состояния и проблемы геоинформационного обеспечения территорий // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 3–7.
17. Карпик А. П., Никитин А. В., Едигарян А. Р. Технология обеспечения геопространственными данными инфраструктуры транспортных коридоров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. № 1. – С. 7–18.
18. Комиссаров А. В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий : дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 278 с.
19. Косарев Н. С. Методика контроля фазовых ГНСС измерений по эфемеридам спутников и координатам пункта наблюдений : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 159 с.

20. Лобанова Т. В. Разработка научно-методических основ геомеханического обеспечения подземной отработки железорудных месторождений Сибири в геодинамически активном районе : дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.20. – Новосибирск : ИГД СО РАН, 2009. – 295 с.
21. Мазуров Б. Т. Высшая геодезия : учебник. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 203 с.
22. Мазуров Б. Т., Дорогова И. Е. Геодинамика и геодезические методы ее изучения : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2014. – 174 с.
23. Некрасова О. И. Уточненная методика определения гравитационных характеристик локальных природных и техногенных объектов : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 138 с.
24. Николаева О. Н. Методология геоинформационного моделирования и картографирования состояния природных ресурсов региона для рационального природопользования : дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.33. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 175 с.
25. Никонов А. В. Совершенствование методики тригонометрического нивелирования короткими лучами : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 261 с.
26. Обиденко В. И. Разработка и исследование методики определения формы и размеров территорий по геопространственным данным : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 200 с.
27. Пронина Л. А. Методика расчета и назначения допусков на геодезические работы для обеспечения высотного положения автомобильных дорог : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 175 с.
28. Сальников В. Г. Совершенствование методики геодезических измерений для обеспечения строительства и эксплуатации энергетических объектов : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 208 с.
29. Уставич Г. А. Геодезия : учебник для вузов. В 2 кн. Кн. 1. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 352 с.
30. Хамедов В. А. Разработка методики мониторинга лесных земель на основе космических снимков оптического и радарного диапазонов : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.26. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 295 с.

Паспорта научных специальностей

(<http://vak.ed.gov.ru/316>)

Шифр специальности: 25.00.32 Геодезия

Формула специальности:

Содержанием специальности является определение формы и размеров Земли, ее гравитационного поля, пространственных характеристик природных и техногенных объектов, явлений и процессов на ее поверхности, создание геоинформационного пространства как базового продукта геодезического обеспечения территорий, а также установление закономерностей их пространственно-временных изменений.

Области исследований:

1. Определение параметров земного эллипсоида, геоида и гравитационного поля Земли, изменение их в пространстве и во времени.

2. Создание геодезической координатно-временной основы различного назначения с использованием геодезических, астрономических, гравиметрических и других (космических, наземных и подземных) методов измерений; оценка их степени устойчивости и характера изменений, вопросы их проектирования и оптимизации. Геодезические системы координат.

3. Геодезические (глобальные) навигационные спутниковые системы и технологии. Формирование активного координатно-временного пространства на основе навигационной инфраструктуры ГЛОНАСС и др. Геодезические системы наземного, морского и космического базирования для определения местоположения и навигации подвижных объектов геопространства, в том числе транспорта, военной техники, людей и животных.

4. Разработка новых принципов, методов, технических средств и технологий геодезических измерений для определения геометрических и физических параметров Земли, ее поверхности, объектов, явлений и процессов на ней, в том числе для производства наземных топографических съемок.

5. Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительно-монтажных, кадастровых, землеустроительных, проектно-изыскательских, маркшейдерских, геолого-разведочных и лесоустроительных работ; освоения шельфа; монтажа, юстировки и эксплуатации технологического оборудования.

6. Геодезическое обеспечение изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных комплексов, в том числе гидротехнических сооружений, атомных и тепловых электростанций, промышленных предприятий, линейных сооружений. Геодезический контроль ведения технического надзора при строительстве и эксплуатации нефтегазодобывающих комплексов.

7. Геодезическое обеспечение геодинамического мониторинга состояния окружающей среды, в первую очередь, опасных процессов и явлений, способствующих возникновению кризисных ситуаций.

8. Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры и ее поверхности, зданий и сооружений, вызванного природными и техногенными факторами, с целью контроля их устойчивости, снижения риска и последствий природных и техногенных катастроф, в том числе землетрясений.

9. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий на основе ГИС-технологий. Принципы формирования, состав и структура геоинформационного пространства, отображающего совокупность пространственных характеристик территорий.

10. Разработка принципов и технологий создания геоинформационных систем различного назначения по геодезическим данным.

11. Теория и практика математической обработки результатов геодезических измерений и информационное обеспечение геодезических работ. Автоматизированные технологии создания цифровых трехмерных моделей технологических объектов, процессов и явлений по геодезическим данным.

12. Современные системы накопления, обработки, хранения, передачи и использования геодезической информации, в том числе форматы геоданных, инфраструктуры и территориальные банки геопространственных данных, электронные геопространства, базы геодезических знаний, геосервисы, геослужбы, геопорталы и другие геодезические системы в Интернет.

13. Геодезическая метрология. Разработка методов, средств и нормативных документов для метрологического обеспечения геодезических средств измерений. Создание и функционирование эталонных геодезических полигонов, базисов и компараторов для поверки, калибровки и аттестации геодезических средств измерений.

14. Проектирование и маркетинг геодезических работ. Разработка методов и технологий реализации надзорной функции государства за геодезической деятельностью. Разработка методов и средств автоматизации и информатизации деятельности органов Государственного геодезического надзора. Геодезическое обеспечение создания и ведения российской инфраструктуры пространственных данных с целью обеспечения программ: «Электронная Россия», «Электронное правительство», «Электронный документооборот» и др.

15. Разработка научно-методических основ и принципов геодезического образования.

Шифр специальности: 25.00.33 Картография

Формула специальности:

Картография – область науки и техники, охватывающая моделирование геосистем, изучение, создание и использование карт, фотокарт, атласов и других картографических произведений в традиционной бумажной и электронной формах. Основная ее задача – моделирование природных, социально-экономических и экологических систем (геосистем) посредством карт с целью их отображения и познания, а также сбор, обработка и передача пространственно-временной информации об этих системах и их компонентах. Значение научных и технических проблем картографии для народного хозяйства состоит в обеспечении всех видов научной, хозяйственной, образовательной, культурной, оборонной деятельности общества, включая задачи территориального управления и планирования, инженерного проектирования, строительства и освоения земель на всех уровнях. Картография предоставляет общий метод исследования и единый язык всем наукам о Земле и планетах и смежным с ними социально-экономическим отраслям знания.

Области исследований:

1. Феноменология картографии – исследования феноменов языка карты (знаковой системы), картографического знака и карты, типов и видов карт, структуры и грамматического строя этого языка, его функций (коммуникативной, познавательной и др.), закономерностей устройства, функционирования и развития (эволюции), феномена картографической информации.

2. Общая теория картографии – развитие учения о ее предмете, рабочей модели, методе и языке, структуре и задачах науки, связях и взаимодействии с другими дисциплинами и областями знаний.

3. Теория картографических проекций и другие проблемы математической картографии.

4. Новые методы составления и проектирования, новые виды топографических и общегеографических карт и атласов.

5. Новые методы составления и проектирования, новые виды и типы тематических и кадастровых карт и атласов.

6. Картографическая генерализация.

7. Картографическая грамматика, картоязыковые ошибки, методы их выявления и устранения.

8. Оформление картографических произведений, картографический дизайн.

9. Геоинформационное картографирование и компьютерные технологии.

10. Тематическое дешифрирование и методы дистанционного (аэрокосмического) зондирования.

11. Космическое картографирование.

12. Использование карт в науке и практике, картометрия, математико-картографическое моделирование, точность и надежность исследований по картам.

13. История картографии и картографическое источниковедение.

14. Картографическая топонимика.

15. Технологии издания карт и организация картографического производства.

Шифр специальности: 25.00.34 Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия

Формула специальности:

Разработка и исследование принципов, методов, технологий и технических средств определения размеров, формы, положения в пространстве, физических и химических свойств, а также картографирования поверхности Земли, планет Солнечной системы, ландшафтных комплексов и любых объектов, в том числе и искусственных сооружений бесконтактным способом по их изображениям, полученным в разных зонах спектра электромагнитных колебаний.

Области исследований:

1. Теория получения изображений.
2. Разработка и исследование технических средств и технологий, фиксирующих в виде изображений различные элементы объектов исследований.
3. Теория, технология и технические средства сгущения по аэрокосмическим снимкам геодезических сетей, создания и обновления топографических, землеустроительных, экологических, кадастровых и иных карт и планов.
4. Теория и технология дешифрирования изображений с целью исследования природных ресурсов и картографирования объектов исследований.
5. Теория и технология получения количественных характеристик динамики природных и техногенных процессов с целью их прогноза.

Шифр специальности: 25.00.35 Геоинформатика

Формула специальности:

Геоинформатика – область науки и техники, отражающая и изучающая природные и социально-экономические геосистемы, их взаимодействие и развитие посредством компьютерного моделирования на основе информационных систем и технологий, баз данных и баз знаний. В задачи геоинформатики входит изучение общих свойств геоинформации, закономерностей и методов ее получения, фиксации, накопления, обработки и использования, а также развитие теории, методологии и технологий соз-

дания геоинформационных систем с целью сбора, систематизации, хранения, анализа, преобразования, отображения и распространения пространственно-координированных данных.

Значение научных и технических проблем данной специальности для народного хозяйства состоит в обеспечении информацией, контроле и поддержке принятия управленческих решений в сферах планирования и проектирования, исследований в науках о Земле и смежных с ними социально-экономических науках, в развитии образования и культуры, сохранении экологического равновесия, предупреждения чрезвычайных ситуаций, обеспечении обороноспособности страны.

Области исследований:

1. Теоретические и экспериментальные исследования в области развития научных и методических основ геоинформатики.

2. Технические средства сбора, регистрации, хранения, передачи и обработки геоинформации с использованием вычислительной техники.

3. Геоинформационные системы (ГИС) разного назначения, типа (справочные, аналитические, экспертные и др.), пространственного охвата и тематического содержания.

4. Базы и банки цифровой информации по разным предметным областям, а также системы управления базами данных.

5. Базы знаний по разным предметным областям.

6. Математические методы, математическое, информационное, лингвистическое и программное обеспечение для ГИС.

7. Геоинформационное картографирование и другие виды геомоделирования, системный анализ многоуровневой и разнородной геоинформации.

8. Компьютерные геоизображения новых видов и типов, анимационные, мультимедийные, виртуальные и другие электронные продукты.

9. Геоинформационные инфраструктуры, методы и технологии хранения и использования геоинформации на основе распределенных баз данных и знаний.

10. Телекоммуникационные системы сбора, анализа, обработки и распространения пространственно-временной геоинформации.

11. Взаимодействие геоинформатики, картографии и аэрокосмического зондирования.

Шифр специальности: 25.00.36 Геоэкология

Формула специальности:

Геоэкология – междисциплинарное научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов. Основной задачей геоэкологии является изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды.

Области исследований:

1. Науки о Земле:

1.1. Глобальные геосферные жизнеобеспечивающие циклы – изучение роли геосферных оболочек Земли в глобальных циклах переноса углерода, азота, воды и др.

1.2. Геодинамика и ее влияние на состав, состояние и эволюцию окружающей среды.

1.3. Исторические реконструкции и прогноз современных изменений природы и климата. Палеогеоэкология.

1.4. Влияние дегазации, геофизических и геохимических полей, геоактивных зон Земли на окружающую среду.

1.5. Геоэкологические последствия влияния гелиофизических процессов.

1.6. Глобальные и региональные экологические кризисы – комплексные изменения окружающей среды, приводящие к резкому ухудшению условий жизни и хозяйственной деятельности. Геоэкологические последствия природных и техногенных катастроф.

1.7. Междисциплинарные аспекты стратегии выживания человечества и разработка научных основ регулирования качества состояния окружающей среды.

1.8. Природная среда и геоиндикаторы ее изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека: химическое и радиоактивное загрязнение почв, пород, поверхностных и подземных вод и сокращение их ресурсов, наведенные физические поля, изменение криолитозоны.

1.9. Оценка состояния, изменений и управление современными ландшафтами.

1.10. Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли, санация и рекультивация земель, ресурсосбережение.

1.11. Геоэкологические аспекты функционирования природно-технических систем. Оптимизация взаимодействия (коэволюция) природной и техногенной подсистем.

1.12. Геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля.

1.13. Динамика, механизм, факторы и закономерности развития опасных природных и техноприродных процессов, прогноз их развития, оценка опасности и риска, управление риском, превентивные мероприятия по снижению последствий катастрофических процессов, инженерная защита территорий, зданий и сооружений.

1.14. Моделирование геоэкологических процессов.

1.15. Геоэкологическое обоснование безопасного размещения, хранения и захоронения токсичных, радиоактивных и других отходов.

1.16. Геоэкологические аспекты устойчивого развития регионов.

1.17. Геоэкологическая оценка территорий. Современные методы геоэкологического картирования, информационные системы в геоэкологии. Разработка научных основ государственной экологической экспертизы и контроля.

1.18. Научное обоснование государственного нормирования и стандартов в области геоэкологических аспектов природопользования.

Шифр специальности: 25.00.26 Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Формула специальности:

Содержанием специальности является разработка принципов, методов и технологий учета, регистрации и сбора информации о состоянии земельных ресурсов, а также оценки и управления земельными ресурсами.

Области исследований:

1. Разработка системы кадастрового состояния земель в условиях перехода к многоукладному землепользованию.

2. Научно-методическое обеспечение земельно-оценочных работ (по всем категориям земель).

3. Разработка научных основ изъятия и введения федерального автоматизированного земельного кадастра.

4. Состав оценочных качественных и количественных показателей в ГЗК.

5. Принципы сбора, документирования, накопления, обработки и хранения сведений о земельных участках. Разработка единой методики по ведению земельного кадастра.

6. Научные основы сравнительной качественной характеристики почв (бонитировки почв).

7. Информационное обеспечение Государственного земельного кадастра.

8. Обоснование выбора первичной единицы при проведении учета качества земель.

9. Охрана земель – основа комплексного подхода к использованию земель с учетом их зональных и региональных особенностей (предотвращение деградации земель, экологическое состояние земель, защита земель от водной и ветровой эрозии, защита от заражения сельскохозяйственных угодий, рекультивация нарушенных земель).

10. Разработка проектов землеустройства на основе освоения адаптивно-ландшафтного земледелия.

11. Принципы проектирования ландшафтных систем земледелия в адаптивном землеустройстве.

12. Приоритетные проблемы экологизации землепользования (адаптация сельскохозяйственного производства к конкретным ландшафтным условиям, «вписывание» сельскохозяйственного производства в природную среду).

13. Оптимизация структуры ландшафтного земледелия в проектах землеустройства на ландшафтной основе.

14. Устойчивость агроэкосистем (создание природоохранной системы в виде заповедных, водоохранных, рекреационных и санитарно-гигиенических зон наряду с полезащитными лесонасаждениями, экологически обоснованными мелиорациями земель и т. д.).

15. Мелиорация агроландшафтов в системе адаптивного земледелия.

16. Регулирование основных показателей (параметров) и режимов функционирования агроэкосистем в адаптивно-ландшафтном земледелии.

17. Формирование высокопродуктивных и экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствование систем земледелия на ландшафтной основе.

18. Государственное регулирование земельных отношений в рыночных условиях.

19. Оптимизация форм хозяйственного использования земель. Научное обоснование движения и использования земельных долей.

20. Ландшафтно-сельскохозяйственная типизация территории в адаптивно-ландшафтных системах сельскохозяйственного производства.

21. Конструирование региональных агроландшафтных систем.

22. Научные основы организации землепользования (типизация земельных массивов в агроландшафте, организация природоохранной инфраструктуры, особенности организации территории фермерских хозяйств).

23. Мониторинг земель как научное направление (концепция, методология, технология); системный подход.

24. Научные основы, цели, функции, содержание и организация мониторинга земель (федеральный, региональный и локальный уровни).

25. Обоснование системы контролируемых показателей слежения за состоянием земель.

26. Картографическое обеспечение мониторинга земель (атласы земель на федеральном уровне, а также на регионы страны, создание базовых, инвентаризационных, прогнозных и других карт).

27. Ландшафтно-экологическое районирование территории России и ее отдельных регионов с выявлением территорий распространения основных процессов деградации земель.

28. Агроэкологический мониторинг в интенсивном земледелии; компоненты агроэкологического мониторинга; цели, задачи, структура, биогеохимические подходы к ведению мониторинга.

29. Разработка земельно-информационной системы (ЗИС) как основной части геоинформационной системы (ГИС) на основе современных информационных и геоинформационных технологий.

30. Правовой механизм формирования системы государственного земельного кадастра.

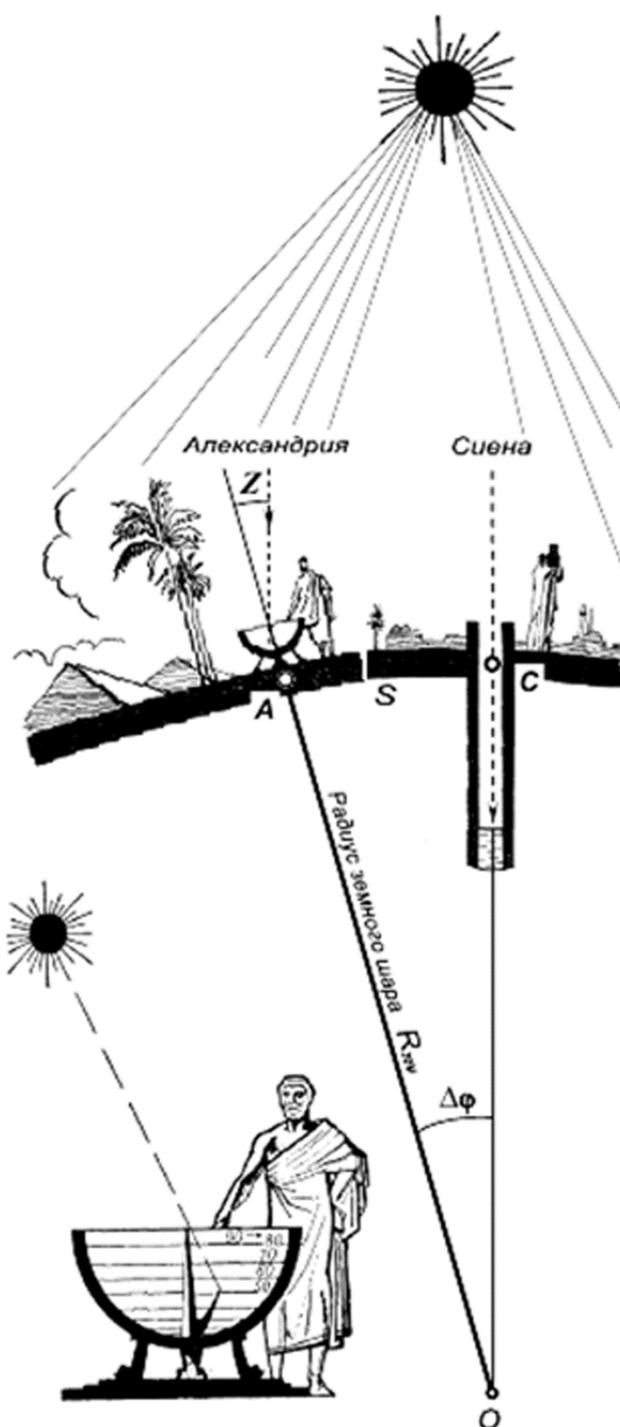
31. Организационно-правовые формы землепользования и землеустройства.

32. Землеустройство и земельный кадастр как организационно-правовой механизм управления земельными ресурсами.

33. Земельные правовые отношения как основа формирования систем землеустройства, кадастра и мониторинга земель.

34. Земельный кадастр как основа государственной регистрации прав на землю и иную недвижимость.

Определение радиуса Земли Эратосфеном



В день летнего солнцестояния (21 или 22 июня) в полдень Солнце в Сиене освещает дно глубоких колодцев, т. е. находится как раз над головой – в зените. Вертикально стоящие столбы в этот момент не дают тени.

В Александрии же в этот день Солнце в полдень не доходит до зенита и не освещает дна колодцев, а предметы дают тень (точка A).

Эратосфен измерил, насколько полуденное Солнце в Александрии отклонено от зенита, и получил величину $Z = 7^{\circ}11'$, что составляет $1/50$ окружности. Это ему удалось сделать при помощи специального прибора скафиса.

Скафис – это древний прибор для определения высоты Солнца над горизонтом, представляющий собой чашу в форме полушария. В центре чаши отвесно закреплялась игла. Тень от иглы падала на внутреннюю поверхность скафиса, на которой были проведены градусные окружности.

Построив чертеж, Эратосфен правильно заключил:

$$\frac{S}{2\pi R_{\text{Земли}}} = \frac{\Delta\varphi}{360^{\circ}},$$

откуда

$$R_{\text{Земли}} = \frac{S \cdot 360^{\circ}}{\Delta\varphi \cdot 2\pi} = \frac{S}{\Delta\varphi} \rho,$$

где S – длина дуги меридиана между Александрией и Сиеной;

ρ – радиан, равный $3\,437,75$ мин.

Так как Солнце практически находится в бесконечности, то линии A и C параллельны и угол с вершиной в центре Земли O между Сиеной и Александрией будет равен углу тени в Александрии, т. е.

$$\Delta\varphi = Z = 7^{\circ}11'.$$

Оставалось измерить расстояние S . Это расстояние было определено по числу дней, которое тратили караваны верблюдов на переход между Александрией и Сиеной, и средней скорости перехода. В единицах того времени $S = 5\,000$ стадий. Стадией греки считали расстояние, равное примерно $158\text{--}185$ м, которое человек спокойным шагом мог пройти от момента появления Солнца над горизонтом до момента появления всего диска Солнца.

В переводе на наши меры

$$S = 5\,000 \frac{158 + 185}{2} = 857\,500 \text{ м.}$$

Таким образом, подставив все данные, получаем, что средний радиус Земли, по Эратосфену, равен 6 823,8 км. Это значение отличается от современных данных примерно на 450 км. Зная величину радиуса Земли, можно вычислить длину всей окружности Земли.

Параметры существующих эллипсоидов вращения

Таблица П.3.1

Применяемые исторически эллипсоиды вращения

Автор или название эллипсоида	Год	Большая полуось a , м	Сжатие α
Деламбр	1800	6 375 653	1/334
Вальбек	1819	6 376 896	1/303
Бессель	1841	6 377 397,155	1/299,15
Кларк	1866	6 378 206,4	1/294,978 698 2
Кларк	1880	6 378 249,145	1/293,465
Эверест	1830	6 377 276,345	1/300,801 7
Эйри	1830	6 377 563,396	1/299,324 964 6
Хейфорд	1909	6 378 388	1/297
Красовский	1940	6 378 245	1/298,3
Австралийские эллипсоиды	1965	6 378 160	1/298,25
GRS-67	1967	6 378 160	1/298,247 167 247
WGS-60	1960	6 378 165	1/298,3
WGS-66	1966	6 378 145	1/298,25
WGS-72	1972	6 378 135	1/298,26

Таблица П.3.2

Параметры современных общеземных эллипсоидов

	GRS-80	WGS-84	ПЗ-90.11	IERS	ГСК-2011
a	6 378 137	6 378 137	6 378 136	6 378 136,49	6 378 136,5
b	6 356 752,314 1	6 356 752,314	6 356 751,362	6 356 751,750 5	6 356 751,758 0
c	6 399 593,625 9	6 399 593,626	6 399 592,578	6 399 593,169 9	6 399 593,182 4
α	1/298,257 222 01	1/298,257 223 56	1/298,257 84	1/298,256 45	1/298,256 415 1
e^2	0,006 694 380 022	0,006 694 379 99	0,006 694 366 17	0,006 694 397 32	0,006 694 398 10
e'^2	0,006 739 496 775	0,006 739 496 74	0,006 739 482 74	0,006 739 514 31	0,006 739 515 10

Основные параметры ГСК-2011

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Значение
1. Универсальные физические постоянные			
Скорость света в вакууме	c	м/с	299 792 458
Гравитационная постоянная	f	м ³ /(кг·с ²)	6,672 59·10 ⁻¹¹
2. Фундаментальные геодезические постоянные			
Геоцентрическая гравитационная постоянная Земли (с учетом атмосферы)	fM	км ³ /с ²	398 600,441 5
Угловая скорость вращения Земли	ω	рад/с	7,292 115·10 ⁻⁵
Большая полуось	a	м	6 378 136,500
Сжатие	α		1/298,2 564 151
3. Геометрические постоянные			
Малая полуось	b	м	6 356 751,758
Квадрат первого эксцентриситета	e^2	-	0,006 694 398 1
Квадрат второго эксцентриситета	e'^2	-	0,006 739 515 1
4. Физические постоянные			
Нормальный потенциал на поверхности отсчетного эллипсоида	U_0	м ² /с ²	62 636 856,75
Ускорение нормальной силы тяжести на экваторе отсчетного эллипсоида	γ_a	мГал	978 032,696
Ускорение нормальной силы тяжести на полюсе отсчетного эллипсоида	γ_b	мГал	983 218,646
Коэффициенты в формуле ускорения нормальной силы тяжести	β	—	0,005 302 43
	β_1	—	0,000 005 85
Коэффициент второй зональной гармоники нормального потенциала	J_2^0	—	1 082,636 14 10 ⁻⁶

Элементы трансформирования в ГСК-2011

Исходная система	$\Delta X, \text{ м}$	$\Delta Y, \text{ м}$	$\Delta Z, \text{ м}$	$\omega_x \cdot 10^3 \text{ угл. с}$	$\omega_y \cdot 10^3 \text{ угл. с}$	$\omega_z \cdot 10^3 \text{ угл. с}$	$m \cdot 10^6$
1. СК-42	+23,575	-140,83	-79,77	-1,738	-346,441	-794,263	-0,227 4
2. СК-95	+24,65	-129,14	-83,06	-67	+4	+129	-0,175
3. ПЗ-90	-1,443	+0,170	+0,230	-1,738	+3,559	-134,263	-0,227 4
4. ПЗ-90.02	-0,373	+0,2	+0,210	-1,738	+3,559	-4,263	-0,007 4
5. ПЗ-90.11	0	+0,014	+0,008	+0,562	+0,019	-0,053	+0,000 6
6. WGS-84	-0,343	+0,470	+1,130	-1,738	+3,559	+65,737	-0,107 4
7. ITRF-2008	+0,002	-0,003	-0,003	+0,053	+0,093	-0,012	+0,000 8

Сравнение характеристик спутниковых систем

Параметр, способ	СНС ГЛОНАСС	GPS NAVSTAR	TEN GALILEO
Число НС (резерв)	24 (3)	24 (3)	27 (3)
Число орбитальных плоскостей	3	6	3
Число НС в орбитальной плоскости	8	4	9
Тип орбит	Круговая ($e = 0 \pm 0,01$)	Круговая	Круговая
Высота орбиты, км	19 100	20 183	23 224
Наклонение орбиты, град.	$64,8 \pm 0,3$	~ 55 (63)	56
Номинальный период обращения по среднему солнечному времени	11 ч 15 мин 44 ± 5 с	~ 11 ч 58 мин	14 ч 4 мин 42 с
Способ разделения сигналов НС	Кодово-частотный (кодовый на испытаниях)	Кодовый	Кодово-частотный
Несущие частоты радиосигналов, МГц	L1 = 1 602,5...1 615,5 L2 = 1 246,4...1 256,5	L1 = 1 575,42 L2 = 1 227,60 L5 = 1 176,45	E1 = 1 575,42 E5 = 1 191,795 E5A = 1 176,46 E5B = 1 207,14 E6 = 12 787,75
Период повторения дальномерного кода (или его сегмента)	1 мс	1 мс (С/А-код)	нет данных
Тип дальномерного кода	М-последовательность (СТ-код 511 зн.)	Код Голда (С/А-код 1023 зн.)	М-последовательность
Тактовая частота дальномерного кода, МГц	0,511	1.023 (С/А-код) 10.23 (Р,У-код)	E1 = 1.023 E5 = 10.23 E6 = 5.115
Скорость передачи цифровой информации (соответственно СИ- и D-код)	50 зн/с (50 Гц)	50 зн/с (50 Гц)	25, 50, 125, 500, 100 Гц
Длительность суперкадра, мин	2,5	12.5	5
Число кадров в суперкадре	5	25	нет данных
Число строк в кадре	15	5	нет данных

Параметр, способ	СНС ГЛОНАСС	GPS NAVSTAR	TEN GALILEO
Система отсчета времени	UTC (SU)	UTC (USNO)	UTC (GST)
Система отсчета координат	ПЗ-90/ПЗ90.2	WGS-84	ETRF-00
Тип эфемерид	Геоцентрические координаты и их производные	Модифицированные Кеплеровы элементы	Модифицированные Кеплеровы элементы
Сектор излучения от направления на центр Земли	± 19 в 0	L1 = ± 21 в 0 L2 = $\pm 23,5$ в 0	нет данных
Сектор Земли	$\pm 14,1$ в 0	$\pm 13,5$ в 0	нет данных

Спутники дистанционного зондирования Земли

Название	Дата запуска	Страна	Разрешение в панхром. режиме, м	Разрешение в мульти-спектр. режиме, м	Число каналов в мультиспектр. режиме, мкм
Alsat-2B	2015	Алжир	2,5	10	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,60); Красный (0,63 ÷ 0,69); Ближний ИК (0,76 ÷ 0,86)
Amazonia-1	2016	Бразилия	–	40	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,60); Красный (0,63 ÷ 0,69); Ближний ИК (0,76 ÷ 0,86)
DMC-3A DMC-3B DMC-3C	2015	Велико-британия	1,0	4,0	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,60); Красный (0,63 ÷ 0,69); Ближний ИК (0,76 ÷ 0,86)
VNREDSat-1	2013-05-07	Вьетнам	2,5	10	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,53 ÷ 0,60); Красный (0,62 ÷ 0,69) Ближний ИК (0,76 ÷ 0,89)
EnMAP	2015	Германия	–	30	Гиперспектральный
Proba-V	2013-05-07	Европа	–	100–300	Синий (0,447 ÷ 0,493); Красный (0,61 ÷ 0,69); Ближний ИК (0,777 ÷ 0,893); Средний ИК (1,57 ÷ 1,65)
Sentinel 2A, 2B	2015	Европа	–	10	Гиперспектральный
Sentinel 3	2015	Европа	–	–	Гиперспектральный
Sentinel 5-P	2016	Европа	–	7–28	Гиперспектральный
EgyptSat-2	2014-04-16	Египет	1,0	4,0	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,60); Красный (0,63 ÷ 0,69); Ближний ИК (0,760 ÷ 0,860)
Cartosat-3	2017	Индия	0,25	1,0	–
Resourcesat 2A	2015	Индия	–	???	–
KazEOSat-1 (DZZ-HRES)	2014-04-29	Казахстан	1,0	4,0	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,53 ÷ 0,60); Красный (0,62 ÷ 0,69); Ближний ИК (0,760 ÷ 0,890)
KazEOSat-2 (DZZ-MRES)	2014-06-19	Казахстан	–	6,5–5	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,53 ÷ 0,6); Красный (0,62 ÷ 0,69)

Название	Дата запуска	Страна	Разрешение в панхром. режиме, м	Разрешение в мульти-спектр. режиме, м	Число каналов в мультиспектр. режиме, мкм
					Крайний красный (0,69 ÷ 0,73); Ближний ИК (0,76 ÷ 0,89)
Gaofen-1	2013-04-26	Китай	2,0	8,0	–
Gaofen-2	2014-08-19	Китай	0,8	3,2	–
CBERS 4	2014-12-07	Китай	5,0	10,0	Зеленый (0,52 ÷ 0,59); Красный (0,63 ÷ 0,69); Ближний ИК (0,77 ÷ 0,89)
Kuaizhou 1,2 (KZ-1, KZ-2)	2013-09-25 2014-11-21	Китай	1,2	5,0	–
Yaogan (Яогань) 26	2014-12-27	Китай	–	–	–
Yaogan (Яогань) 8, 15, 19, 22	2009-12-15 2012-05-29 2013-11-20 2014-10-20	Китай	–	–	–
KOMPSat 3, 3A	2014-05-17 2015-03-25	Корея	0,5–0,7	2,0	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,6); Красный (0,63 ÷ 0,69); Ближний ИК (0,76 ÷ 0,90)
Ресурс-П 1, 2, 3	2013-06-25 2014-12-26 2015	Россия	1,0	3,0	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,60); Красный1 (0,61 ÷ 0,68); Красный2 (0,72 ÷ 0,80); Красный + ближний ИК (0,8 ÷ 0,9)
CATS	2015-01-10	США	–	–	Голубой (0,355); Зеленый (0,532); Дальний ИК (1,065)
Dove 1	2013-04-21	США	–	5,0	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,60);

Название	Дата запуска	Страна	Разрешение в панхром. режиме, м	Разрешение в мультиспектр. режиме, м	Число каналов в мультиспектр. режиме, мкм
Dove 2	2013-04-19	США	–	5,0	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,60); Красный (0,63 ÷ 0,69)
Flock 1	2013-04-19	США	–	5,0	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,60); Красный (0,63 ÷ 0,69)
ISS-RapidScat	2014-09-21	США	0,8	790–730	–
SkySat 1, 2, 3, 4	2013-11-21 2014-07-08 2015	США	0,9	2,0	Синий (0,450 ÷ 0,515); Зеленый (0,515 ÷ 0,595); Красный (0,605 ÷ 0,695); Ближний ИК (0,74 ÷ 0,90)
Worldview-3	2014-08-13	США	0,31	1,2	Coastal (0,40 ÷ 0,45); Blue (0,45 ÷ 0,51); Green (0,51 ÷ 0,58); Yellow (0,585 ÷ 0,625); Red (0,63 ÷ 0,69); Rededge (0,700 ÷ 0,745); Near-IR1 (0,770 ÷ 0,895); Near-IR2 (0,86 ÷ 1,04)
OCO-2	2014-07-01	США	–	1 300	O ₂ (0,765); CO ₂ (1,61); CO ₂ (2,206)
SPOT 6, 7	2012-09-09 2014-06-30	Франция	2	8	Зеленый (0,50 ÷ 0,59); Красный (0,61 ÷ 0,68); Ближний ИК (0,78 ÷ 0,89)
ALOS 3	2015	Япония	0,8	5–30	Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,60); Красный (0,63 ÷ 0,69); Ближний ИК (0,76 ÷ 0,86) ... Гиперспектральный
ASNARO 1	2014-11-06	Япония	1,0	6,0	Крайний синий (0,40 ÷ 0,45); Синий (0,45 ÷ 0,52); Зеленый (0,52 ÷ 0,60); Красный 1 (0,63 ÷ 0,69); Красный 2 (0,705 ÷ 0,745); Ближний ИК (0,76 ÷ 0,86)
ASNARO 3	2016	Япония	–	–	Гиперспектральный

Области применения ДЗЗ:

1. Агрокультура, лесное хозяйство – выделение вегетативных зон: посевные площади, пастбища, лесные участки, определение видов посевных площадей, определение видов и объемов лесных участков, определение качества посевов и биомассы, определение областей угнетения растительности, определение состояния почв, мониторинг степных и лесных пожаров.

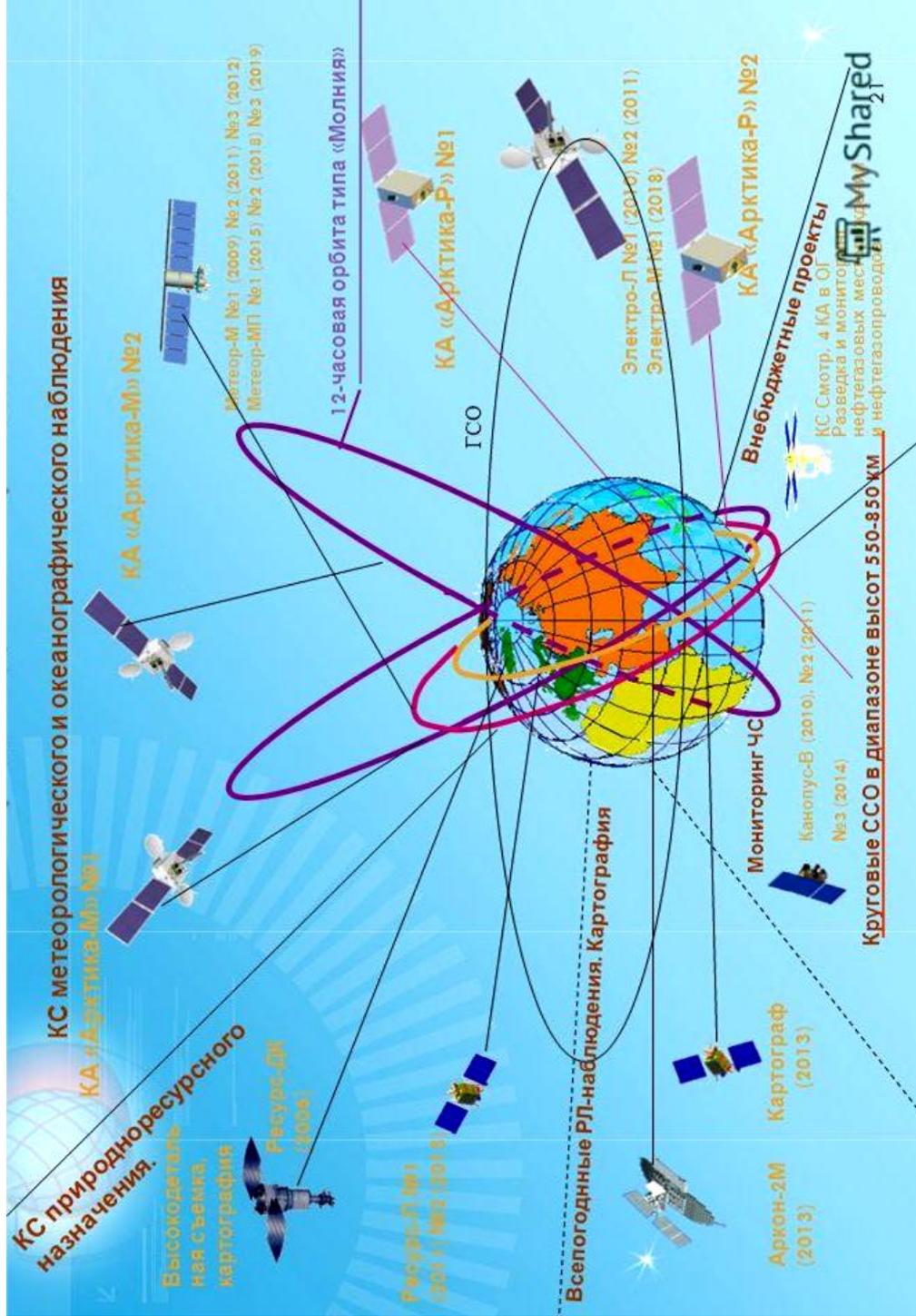
2. Геология – поиск полезных ископаемых, включая нефть и газ, составление и обновление геологических карт, описание региональных структур, исследование вулканической деятельности, поиск признаков минерализации.

3. Водные ресурсы – определение границ и объемов поверхностных вод, определение зон наводнений и паводков, определение границ снежного покрова, исследование ледниковой активности, анализ загрязнения водных ресурсов, мелиорация.

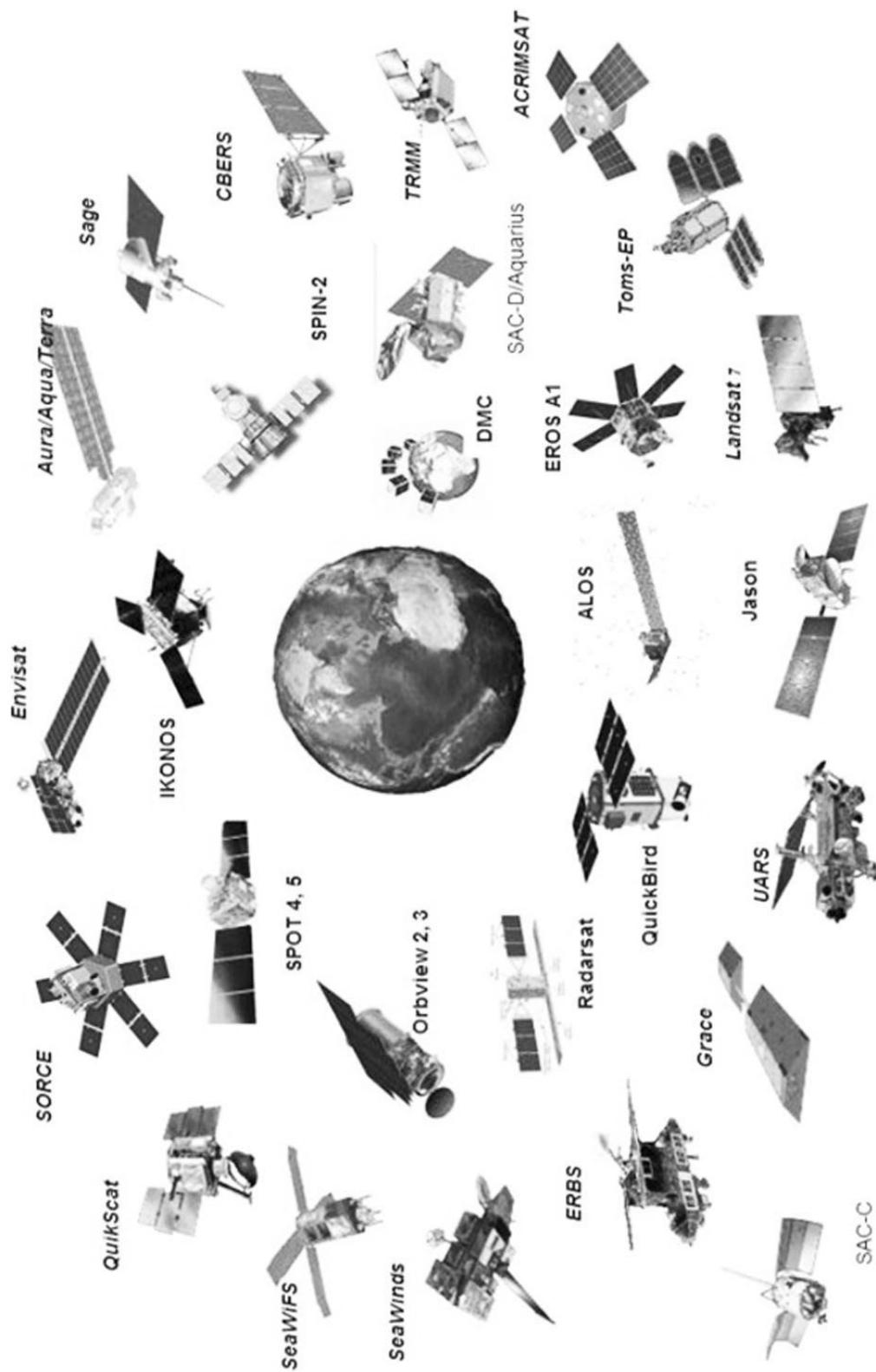
4. Океанография и морские ресурсы – мониторинг органических морских ресурсов, анализ загрязнения и циркуляции вод, мониторинг береговой линии, картографирование мелей и опасных участков, оперативное картографирование ледяного покрова (айсбергов), исследование морских волн и приливов.

5. Окружающая среда – мониторинг горнодобывающей деятельности и утилизации отходов, картографирование и мониторинг загрязнения вод, мониторинг загрязнения воздушной среды, анализ последствий природных катастроф, Мониторинг воздействия человеческой деятельности на окружающую среду.

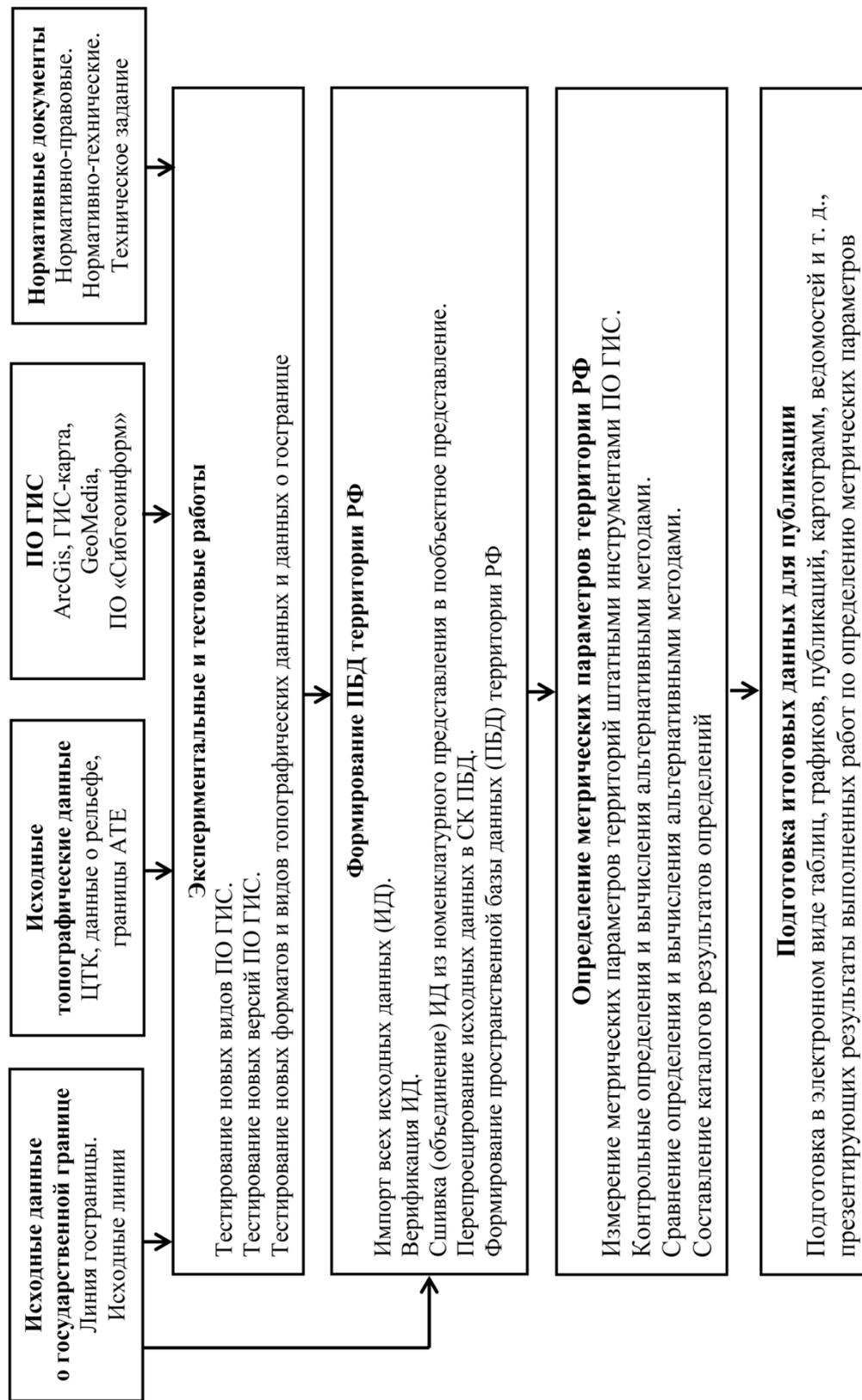
Облик перспективной орбитальной группировки космических средств дистанционного зондирования Земли на период до 2020 г.



Космические аппараты, используемые для изучения Земли



Принципиальная технологическая схема определения метрических параметров территории Российской Федерации с использованием ГИС-технологий



Учебное издание

Мазуров Борис Тимофеевич

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОДЕЗИИ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Редактирование и компьютерная верстка
Е. М. Федяевой

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 25.05.2018. Формат 60 × 84 1/16.
Усл. печ. л. 7,9. Тираж 85 экз. Заказ 71.
Гигиеническое заключение
№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.