Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Государственный университет по землеустройству»
(ГУЗ)

На правах рукописи

Шевчук Артем Александрович

Разработка методики геодезического обеспечения землеустроительных и кадастровых работ с применением мобильных устройств

1.6.22. Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель –
кандидат технических наук
Костеша Владимир Александрович

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ 2
ВВЕДЕНИЕ 4
1 НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ДВУХЧАСТОТНЫМ ГЛОБАЛЬНЫМ НАВИГАЦИОННЫМ СПУТНИКОВЫМ МОДУЛЕМ 10
1.1 Учет и инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения и лесного фонда 10
1.2 Особенности получения пространственных данных для организации сельских и лесных территорий 17
1.3 Глобальные навигационные спутниковые системы и сеть дифференциальных геодезических станций 24
1.4 Основные положения теории и методов ГНСС измерений с помощью двухчастотных мобильных устройств 35
1.5 Выводы по разделу 1 40
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ДАННЫХ МОБИЛЬНЫХ ГНСС-УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА 43
2.1 Исследование программного обеспечения мобильного устройства для фиксации ГНСС-наблюдений 43
2.2 Анализ программных продуктов для обработки данных 50
2.3 Факторы, влияющие на точность получения данных 60
2.4 Ориентирование ГНСС-модуля 66
2.5 Зависимость результатов ГНСС измерений мобильным телефоном от продолжительности сеанса наблюдений 68
2.6 Выводы по разделу 2 72
3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ГНСС-МОДУЛЕМ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СЕЛЬСКОГО И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРОВ. 78
3.1 Оценка погрешностей в измерениях с использованием мобильного устройства с двухчастотным ГНСС-модулем 78
3.2 Методика применения мобильных устройств с ГНСС-модулем в различных отраслях народного хозяйства 80
3.3 Особенности разработки и внедрения программного обеспечения «СГНССГУЗ» для обработки ГНСС-данных в реальном времени 84

3.4 Применение мобильных устройств с ГНСС-модулем для целей сельского хозяйства 90
3.5 Применение мобильных устройств с ГНСС-модулем для целей лесного хозяйства 95
3.6 Экономический расчет выгоды использования мобильных телефонов при геодезическом обеспечении землеустроительных работ 100
3.7 Выводы по разделу 3 103
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 110
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 127

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В условиях активной цифровизации и автоматизации различных сфер деятельности возникает потребность в разработке новых методик и специализированного программного комплекса для геодезического обеспечения землеустроительных и кадастровых работ, способствующих повышению оперативности и точности геодезических работ.

Пространственные данные играют ключевую роль в управлении земельными ресурсами, включая земли лесного фонда, которые являются основой экологической устойчивости, сохранения биоразнообразия и климатической регуляции и сельскохозяйственные (с/х) земли, которые представляют собой основу продовольственной безопасности Российской Федерации (РФ).

Применение современных геодезических технологий, включая глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), обеспечивает получение точных и актуальных пространственных данных, необходимых для эффективного мониторинга и управления этими ресурсами. Систематическое отслеживание изменений в использовании и состоянии земельного фонда помогает выявлять деградацию земель, а также их неэффективное использование и экологическое загрязнение земельных ресурсов, что становится особенно значимым в контексте растущего антропогенного воздействия на экосистемы.

Последние десятилетия отмечены стремительным развитием в области геодезии, связанным с разработкой и активным внедрением инновационных решений: цифровых технологий по обработке и анализу больших данных, внедрением беспилотных авиационных систем (БАС), применением лазерного сканирования и др. Новым направлением в развитии современной геодезии является применение мобильных устройств (МУ), под которыми подразумеваются персональные смартфоны, планшеты, оснащенные двухчастотными глобальными навигационными спутниковыми устройствами (ГНСС-устройства). Данная технологическая новация предоставляет широкий спектр возможностей по геодезическому обеспечению

землеустройства, лесного и сельского хозяйства. Внедрение данных устройств требует исследования точности получаемых данных и разработки методики по применению измерительных технических средств для обеспечения продовольственной безопасности на базе мобильных устройств в различных отраслях народного хозяйства РФ.

Востребованность и целесообразность внедрения измерительных технических средств на базе мобильных устройств обусловлена следующими факторами.

1 Использование дорогостоящего высокоточного геодезического оборудования для инвентаризации земель, лесных массивов и сельскохозяйственных угодий зачастую экономически нецелесообразно. Мобильные устройства, оснащенные ГНСС-модулями и специализированными приложениями, обеспечивают оперативный сбор данных с необходимой точностью. Например, при инвентаризации лесов они позволяют фиксировать границы участков, учитывать площади вырубок, что сохранит земли лесного фонда. В сельском хозяйстве мобильные устройства способствуют автоматизации процессов учета полей и планирования севооборота, что существенно снижает трудоёмкость и повышает производительность работ.

2 Мобильные устройства обеспечивают оперативный сбор и обработку данных, а также их передачу для интеграции в различные системы управления и анализа, такие как геоинформационные платформы или специализированные приложения. Это нужно для повышения точности и скорости принятия решений при выполнении землеустроительных и кадастровых работ.

Внедрение мобильных устройств в геодезическое обеспечение землеустроительных и кадастровых работ является актуальным и востребованным направлением в сельском и лесном хозяйстве, а также в сфере землеустройства и кадастра. Это обусловлено необходимостью повышения точности, оперативности и экономической эффективности геодезических измерений.

Степень разработанности темы. С развитием ГНСС-технологий, расширением и уплотнением сетей дифференциальных геодезических станций (СДГС) на поверхности Земли, в последние 30 лет стали активно вестись работы по определению движения точек земной поверхности. Современными авторами отечественных

и зарубежных авторов работ, посвященных тематике движения земной поверхности с помощью методов космической геодезии, являются: Антонович К. М., Бровар В. В., Долин С. В., Кафтан В. И., Липатников С. А., Майоров А. Н., Побединский Г. Г., Altamimi Z., Collilieux X., Dermanis A., Dong D., Grafarend E., Hofmann-Wellenhof B., Kouba J., Metivier L., Moritz H., Muller J., Rainer J. и др.

Вопросам геодезического и информационного обеспечения землеустроительных и кадастровых работ посвящены работы: Аврунева Е. И., Атаманова С. А., Варламова А. А., Волкова С. Н., Голубева В. В., Григорьева С. А., Дубровского А. В., Карпика А. П., Костеши В. А., Маслова А. В., Неумывакина Ю. К., Ознамца В. В., Папаскири Т. В., Сальникова В. Г., Сизова А. П., Соловицкого А. Н., Уставича Г. А., Хорошилова В. С., Шаповалова А. Н., Шоломицкого А. А., Юнусова А. Г. и др.

Целью диссертационной работы является разработка методики геодезического обеспечения землеустроительных и кадастровых работ, мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и лесного фонда с использованием мобильных устройств с двухчастотным ГНСС-модулем (СГНСС), включающей в себя создание специализированного программного обеспечения (ПО) для обработки спутниковых измерений.

Для достижения поставленной цели предполагается решить следующие научно-технические *задачи*:

– выполнить анализ нормативно-правовой базы и научно-технической литературы в области геодезического обеспечения землеустроительных и кадастровых работ с использованием технологий глобального навигационного спутникового позиционирования;

– разработать методику выполнения геодезических измерений с применением двухчастотных мобильных устройств с ГНСС-модулями для определения координат характерных поворотных точек границ земельных объектов кадастровых и землеустроительных работ;

– разработать специализированное ПО для математической обработки ГНСС-измерений с целью анализа результатов и расчета площадей угодий и земельных участков;

– провести экспериментальные исследования точности определения координат поворотных точек границ участков, получаемых с использованием мобильных ГНСС-устройств, с учетом влияния различных факторов, таких как искажение сигнала спутника, вариативность условий радиовидимости, продолжительность сеансов наблюдений;

– выполнить апробацию разработанной методики и ПО в полевых условиях на землях сельскохозяйственного и лесного назначения.

Объект исследования – технические средства и технологии геодезического обеспечения кадастровых и землеустроительных работ.

Предмет исследования – методика определения координат границ объектов кадастровых и землеустроительных работ с использованием мобильных устройств.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

– разработке методики выполнения геодезических измерений с применением двухчастотных мобильных устройств с ГНСС-модулями для определения координат характерных поворотных точек границ земельных объектов кадастровых и землеустроительных работ;

– разработке и исследовании технологической схемы выполнения геодезических измерений с использованием мобильных устройств для определения координат границ объектов обеспечения землеустроительных и кадастровых работ;

– разработке специализированного ПО для математической обработки результатов геодезических измерений местоположения объектов землеустроительных и кадастровых работ.

Теоретическая значимость работы заключается в теоретическом обосновании и разработке технологической схемы и методики СГНСС для определения местоположения объектов землеустроительных и кадастровых работ.

Практическая значимость заключается в востребованности разработанной методики производственными организациями и кадастровыми инженерами в результате применения недорогостоящего измерительного оборудования, оснащённого ГНСС-модулями и специализированными приложениями, позволяющими

с необходимой точностью и минимальной трудоёмкостью определять местоположение границ объектов землеустроительных и кадастровых работ.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач в диссертации использовались современные методы геодезического обеспечения, системного анализа, моделирования, теория математической обработки результатов геодезических измерений, методы математического анализа и теории вероятности.

Положения, выносимые на защиту:

– разработанная методика геодезического обеспечения инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения, а также землеустроительных и лесоустроительных мероприятий обеспечивает снижение временных и финансовых затрат за счет оптимизации процессов сбора, обработки и анализа пространственных данных;

– разработанное специализированное ПО для обработки СГНСС-измерений позволяет в режиме реального времени выполнять математическую обработку геодезических измерений, что ускоряет и удешевляет работы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует областям исследования: 5 – 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; 11 – Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительно-монтажных, кадастровых, землеустроительных, проектно-изыскательских, маркшейдерских, геологоразведочных и лесоустроительных работ; освоения шельфа; монтажа, юстировки и эксплуатации технологического оборудования и других прикладных задач паспорта научной специальности 1.6.22. Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки РФ по техническим наукам.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались и обсуждались на XVIII и XX Международных научных конгрессах «Интерэкспо

ГЕО-Сибирь» (г. Новосибирск, 2022, 2024 гг.), LXII-LXVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Научные исследования и разработки молодых учёных для развития АПК» (г. Москва, 2019–2024 гг.).

Результаты диссертационного исследования внедрены в производственные процессы ФГБУ «РОСЛЕСИНФОРГ», а также в учебный процесс на кафедре геодезии и геоинформатики ФГБОУ ВО «ГУЗ» при изучении дисциплины «Геодезическое обеспечение землеустроительных и кадастровых работ».

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 6 публикациях, из которых 2 статьи – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 3 статьи – в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus, 1 – свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 127 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы, включающего 130 источников, содержит 18 таблиц и 17 рисунков.

1 НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ДВУХЧАСТОТНЫМ ГЛОБАЛЬНЫМ НАВИГАЦИОННЫМ СПУТНИКОВЫМ МОДУЛЕМ

1.1 Учет и инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения и лесного фонда

Земля как природный ресурс является основой для осуществления деятельности человека, её качественные и количественные характеристики, а также их учет напрямую влияют на качество жизни населения государства. При этом особое значение имеют следующие земли: леса, заповедники, сельскохозяйственные угодья и др. Территория Российской Федерации на данный момент по большей части состоит именно из таких земель, однако их учет и качественное состояние со времен распада Советского Союза находятся в упадке. Это указывает на острую необходимость совершенствования цифровизации таких процессов, как государственный кадастровый учет, инвентаризация и мониторинг лесных и сельскохозяйственных земель.

Как было сказано ранее, земли лесного фонда и сельскохозяйственного назначения являются категориями земель, имеющими особое экологическое и социально-экономическое значение. Кадастровый учет и регистрация прав на данные категории осложнены рядом факторов:

− труднодоступность большого количества территорий;

− большие массивы землепользований;

− зачастую отсутствие актуальных сведений о состоянии данных территорий;

− высокая стоимость выполнения работ.

Вышеуказанные факторы в дальнейшем влияют на рациональность использования сельскохозяйственных и лесных территорий, а также на их качественное и количественное состояние. На основании Государственного национального доклада о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2022 г. [14],

площадь земель лесного фонда составляла 65,9 % от общей территории, а земель с/х назначения – 22,2 % (рисунок 1).

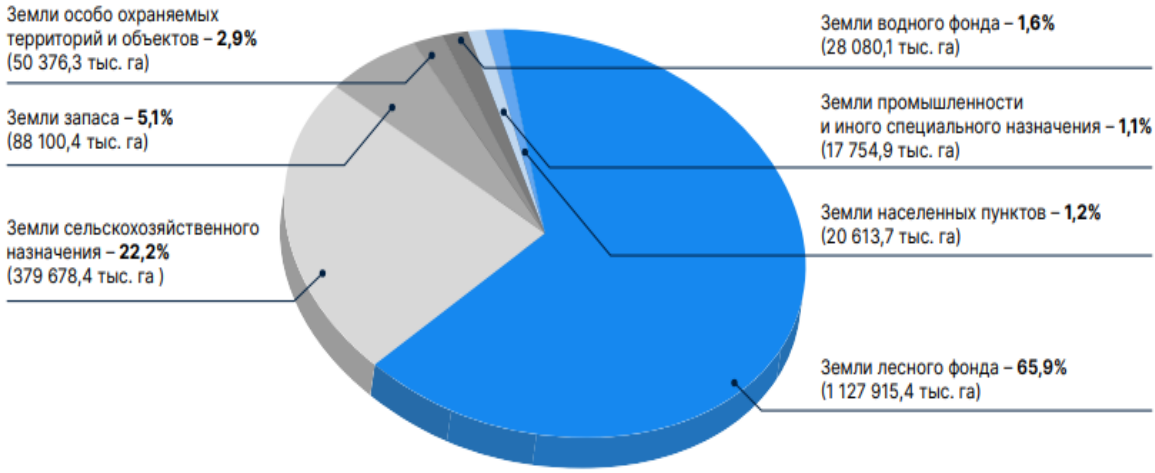

Рисунок 1 – Структура земельного фонда Российской Федерации в разрезе категорий земель [18]

Таким образом, в рамках диссертационного исследования ставится вопрос о количественном и качественном состоянии более чем 80 % земельного фонда Российской Федерации, а также вопрос о наличии актуальных и достоверных сведений об этих землях.

В соответствии с Земельным кодексом Российской Федерации (ЗК) [21], землями с/х назначения являются земли вне границ населенных пунктов, предоставленные для нужд сельского хозяйства или предназначенные для этих целей. Основной особенностью сельскохозяйственных земель является то, что они представляют из себя основу производства сельскохозяйственной продукции, из-за чего обладают особым правовым режимом, направленным на сохранение их площади и плодородия.

К сельскохозяйственным угодьям в соответствии со ст. 79 ЗК РФ [21] относят пашни, сенокосы, пастбища, залежи, земли, занятые многолетними насаждениями (садами, виноградниками и др.). Данные земли подлежат особой охране и не могут

быть использованы для садоводства, использования в собственных нуждах и строительства садовых домов. Доля распределения земель между сельскохозяйственными и несельскохозяйственными угодьями на 2022 г. представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение земель по угодьям на 2022 г.

Наименования угодий	Площадь (тыс. га)	В процентах от категории
Сельскохозяйственные угодья, в т.ч.:	197 746,9	51,1
пашня	116 189,4	30,6
залежь	4394,6	1,2
многолетние насаждения	1241,1	0,3
сенокосы	18 711,2	4,9
пастбища	57 210,6	15,1
Лесные площади	21 109,6	5,6
Земли под лесными насаждениями	19 216,3	5,1
Земли под дорогами	2283,8	0,6
Земли застройки	1091,5	0,3
Земли под водой	13 130,3	3,4
Другие земли	125 100,0	32,9
Итого	379 678,4	100%

Главными источниками информации о землях сельскохозяйственного назначения являются данные Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и Федеральной службы государственной статистики. Однако данные в отчетах о состоянии сельскохозяйственных земель, предоставляемых вышеуказанными органами власти, противоречат друг другу, что ставит под сомнение достоверность существующих сведений.

Точность данных при землеустроительных работах в настоящее время в нормативно-правовых актах не регламентирована. В соответствии с приказом Росреестра от 23.10.2020 № П/0393 [49] нормативная точность определения границ земельных участков представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Точность определения границ земельных участков

Вид земельных участков	Точность определения границ земельных участков, м
Земли сельскохозяйственного назначения	2,5
Земли особо охраняемых территорий и объектов	2,5
Земли лесного фонда	5
Земли водного фонда	5
Земли запаса	5

Стоит отметить, что доклады вышеуказанных ведомств не представляют сведений о границах сельскохозяйственных угодий, что становится причиной большого количества земельных споров и затрудняет процесс управления земельными ресурсами на муниципальном уровне.

Проблемы учета земельных участков земель сельскохозяйственного назначения:

1 Достоверность, полнота и точность сведений о землях сельскохозяйственного назначения не соответствуют потребностям экономики и обеспечения продовольственной безопасности страны.

2 Отсутствие верификации и гармонизации данных о земельных участках сельскохозяйственного назначения.

3 Нарушение экологических стандартов, вызванное отсутствием качественных характеристик в Едином государственном реестре недвижимости (ЕГРН) [18]: некоторые земельные участки, могут использоваться для сельскохозяйственного производства с нарушением экологических стандартов, что может привести к загрязнению почвы и водных ресурсов. В этом случае точность кадастровых записей может быть недостаточной для определения уровня загрязнения и деградации земель.

4 Проблема неиспользуемых сельскохозяйственных земель, площадь которых составляет порядка 45 млн га. Все данные, которыми располагают органы гос-

ударственной власти, основаны на ранее учтенных сведениях государственного земельного кадастра. Таким образом, можно сделать вывод о том, что сведения о неиспользуемых землях сельскохозяйственного назначения не обновлялись более 20 лет. Введение в оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения должно начинаться с актуализации сведений о таких землях путем проведения их сплошной инвентаризации [39, 68].

На данный момент нормативно-правовую базу инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения составляют: Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 06.02.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023) [21], Федеральный закон от 18.06.2001 № 78-ФЗ «О землеустройстве» [42]. Методики проведения инвентаризации создаются и законодательно закрепляются на региональном уровне, и на данный момент в ФГБОУ ВО ГУЗ разработана методика вовлечения земель сельскохозяйственного назначения.

Она включает несколько ключевых этапов, начиная с подготовки данных и заканчивая формированием итоговой документации. На первом этапе осуществляется сбор информации из государственных реестров (ЕГРН, ЕФИС ЗСН) и архивных материалов, которые затем проходят географическую и геодезическую привязку.

Второй этап включает обработку собранных данных с использованием ГИС-технологий для создания цифровых карт и векторных слоёв, которые отображают актуальные границы земель. В процессе обработки проводится географическая привязка, что обеспечит точность и согласованность данных с другими картографическими источниками.

На последнем этапе выполняются полевые работы с использованием ГНСС-модулей для точного определения границ и проверки состояния земельных участков. Эти данные корректируют и уточняют информацию, полученную на предыдущих этапах, после чего составляется итоговая документация для передачи в государственные информационные системы.

Этот подход позволяет гарантировать высокую точность и актуальность данных, что критически важно для эффективного управления земельными ресурсами [13].

Инвентаризация земель состоит из нескольких этапов, обеспечивающих систематический и последовательный процесс сбора данных, обработки информации земельных ресурсов [48].

1 На подготовительном этапе составляют цели и задачи инвентаризации, собирают команду профессионалов. Далее проводится сбор, анализ информации о землях.

2 В зависимости от целей инвентаризации подбираются наиболее подходящие методы и технологии: космическая съемка, дистанционное зондирование, ГИС, наземные обследования и статистический анализ [37].

3 Следующим этапом является планирование и организация работ, в ходе которых разрабатывается детальный план инвентаризации, включая расписание работ, а также организацию сбора и обработки данных.

4 На этапе сбора данных проводятся полевые обследования. Формируются данные о границах земельных участков, их площади, качестве почв, растительности, а также о текущем использовании и состоянии инфраструктуры.

5 Собранные данные обрабатываются и анализируются, что позволяет определить состояние и качество земельных ресурсов, а также выявить проблемы и возможности развития сельскохозяйственных угодий.

Государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) – это стратегический вид лесоучетных работ по проверке их состояния, определению количественных и качественных характеристик лесных насаждений.

Правила проведения ГИЛ регламентированы приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27.09.2021 № 686 «Об утверждении порядка проведения государственной инвентаризации лесов» [48] (далее – Порядок), разработанным в соответствии с частью 5 статьи 90 Лесного кодекса Российской Федерации [29].

В соответствии с Порядком, проводятся следующие мероприятия в рамках государственной инвентаризации лесов: оценка состояния лесов, их количественных и качественных характеристик; анализ качества и результативности меропри-

ятий по сохранению лесов и использованию лесов, включая выявление неблагоприятного воздействия на леса вследствие нарушений законодательства; а также анализ, оценка и прогноз изменения состояния лесов для стратегического планирования в области лесного хозяйства.

ГИЛ предполагает комплексное использование данных дистанционного зондирования Земли (далее – данные ДЗЗ) в сочетании с наземными методами для оценки состояния лесов. Перед началом наземных работ проводится соответствующее техническое обучение исполнителей работ.

Работы по оценке состояния лесов, их количественных и качественных характеристик проводятся в отношении лесов, расположенных на землях лесного фонда и на землях иных категорий в границах субъектов Российской Федерации.

При проведении ГИЛ, в соответствии с пунктом 8 Порядка, объектами исследования являются два типа лесных участков. Первый тип — это пакет прикладных программ (ППП), где каждые 10 лет проводятся полевые наблюдения для определения количественных и качественных характеристик леса. Второй тип — это участки леса, где количественные и качественные характеристики леса определяются дистанционными методами, используя данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) – фотопробы.

При оценке количественных и качественных характеристик лесов в различных субъектах Российской Федерации учитывается степень интенсивности использования лесов и ведения лесного хозяйства, а также погрешность определения общего запаса древесины. В зависимости от этой погрешности закладываются таксационно-дешифровочные участки (ТДУ) или таксационно-дешифровочные полигоны (ТДП) в лесах.

В процессе оценки состояния лесов и их количественных и качественных характеристик предусмотрено полное картографирование лесов Российской Федерации с определением основных характеристик и созданием набора референсных карт-схем. Для этого применяются методы автоматизированной обработки данных ДЗЗ, моделирования роста лесных насаждений, а также информация, полученная на ППП, ТДУ и фотопробах. Данные ДЗЗ, используемые для картографирования

и определения характеристик лесов, включают в себя спутниковые изображения различного разрешения:

а) до 300 м/пиксель, включая архивные данные за предыдущие 10 лет;

б) до 30 м/пиксель, включая архивные данные за предыдущие 5 лет.

Вышеуказанные спутниковые изображения должны обеспечивать полное покрытие всей территории Российской Федерации.

Однако данные спутниковой съемки земной поверхности не всегда могут отвечать требованиям мониторинга лесов, так как снимки могут быть плохого качества (облака, шумы, смазанность и др.), а также для некоторых участков территории государства снимки могут быть неактуальными или вовсе отсутствовать. В таком случае необходимо прибегать к иным методам получения пространственных данных о лесных землях.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в настоящее время существует научная проблематика, связанная с инвентаризацией и учетом земель сельскохозяйственного назначения и лесного фонда. Стоимость геодезического оборудования при текущих требованиях к точности определения координат заставляет разрабатывать и предлагать новые методики выполнения работ [26].

1.2 Особенности получения пространственных данных для организации сельских и лесных территорий

Пространственной основой для принятия управленческих решений по использованию и развитию территорий являются картографические материалы. Главной особенностью лесных и сельских территорий является большая площадь участков, в сравнении с другими объектами государственного кадастрового учета. Таким образом, при выборе метода получения пространственных данных о лесных и сельских территориях необходимо обеспечить высокую скорость и эффективность проведения полевых изысканий и сбора данных [11].

В соответствии с приказом Росреестра от 23.10.2020 № П/0393 [49], точность определения характерных точек границ лесных и сельскохозяйственных участков составляет 5,0 и 2,5 м соответственно.

Методы получения пространственных данных делятся на геодезические, фотограмметрические и картографические [53].

Камеральный (картографический) метод заключается в изучении и анализе имеющихся пространственных и семантических данных для определения местоположения объекта учета, а также его основных геометрических и качественных характеристик, таких как площадь, конфигурация, количество древесно-кустарниковой растительности, гранулометрический состав почв и др. Однако данный метод может быть использован только для получения предварительных данных и дальнейшего их уточнения с использованием наземных и дистанционных методов [37].

Дистанционные методы фотограмметрии включают в себя как космическую съемку Земли, так и аэрофотосъемку, которая может осуществляться с помощью беспилотных или пилотируемых летательных аппаратов. Эти методы позволяют получать разнообразную пространственную информацию в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59562–2021. Съемка аэрофототопографическая [12].

Космическая (спутниковая) фотосъёмка представляет собой способ получения изображений земной поверхности, осуществляемый с борта космических аппаратов, находящихся на высоте свыше 150 км. К ним относятся как пилотируемые и беспилотные спутники, так и орбитальные станции. Съёмка может проводиться вручную членами экипажа либо выполняться в автоматическом режиме по заданной программе.

Технология обработки космических снимков:

1 Подготовительный этап. На этом этапе осуществляется корректировка изображений для устранения искажений, возникающих вследствие атмосферных явлений или ориентации спутника.

2 Обработка и классификация. В процессе применения специальных программных комплексов улучшается качество изображения, снижаются шумы и повышается контрастность. Далее выполняется классификация изображений, позволяющая отнести их к определённым категориям.

3 Создание цифровой карты. На основе обработанных космических снимков могут быть созданы цифровые карты в различных масштабах, включающие информацию об объектах.

4 Интеграция данных. Далее в цифровые карты необходимо интегрировать такие данные, как рельеф, геологические особенности и иные параметры.

5 Анализ и практическое использование данных. На последнем этапе выполняется анализ полученной информации.

Процесс получения доступа к данным космических съемочных систем регламентируется постановлением Правительства РФ «Об утверждении Положения о порядке и особенностях предоставления данных дистанционного зондирования Земли из космоса…» от 24.08.2019 № 1087 [47]. Данный процесс включает в себя следующие этапы:

− определение системы и типа данных;

− выбор поставщика данных. Существует несколько компаний и организаций, которые предоставляют доступ к космическим данным. Основным поставщиком космических снимков в Российской Федерации является компания «СКАНЭКС»;

− оформление запроса на данные. Запрос должен содержать информацию о желаемых данных, времени съемки и изучаемой области;

− определение стоимости данных, которая зависит от типа данных и их точностных характеристик;

− получение и использование данных.

Аэрофотосъемка — это процесс фотографирования местности, который осуществляется с помощью самолетов, вертолетов или беспилотных воздушных судов (БВС). Она применяется для создания и обновления топографических карт, планов высотного обоснования, а также для получения других пространственных данных в соответствии с национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 59562–2021. Съемка аэрофототопографическая. Технические требования [12].

На данный момент использование пилотируемых воздушных судов, таких как самолет и вертолет, экономически неэффективно, так как помимо аренды данных

средств предполагается аренда взлетно-посадочной полосы и освобождение воздушного пространства. Таким образом, далее в рамках диссертационного исследования будет рассмотрена аэрофотосъемка с использованием БВС.

БВС – это система, при которой беспилотный летательный аппарат (БПЛА) оснащается необходимым оборудованием для съемки местности и выполняет полет в заданной зоне. Процесс съемки обычно включает в себя следующие этапы.

1 Планирование полета: определение целей съемки, выбор зоны съемки, подготовка плана полета с использованием специализированного ПО: DJI GO [81], DroneDeploy [83], MapPilot [109], Litchi [107], Pix4D [114], DJI GS Pro [81], Геоскан Planner [10], Аэроскан [7], Sky-Scanner [121], RT-Link [119], FlytOS [88], Аэроскан PRO [7] и др. – установка настроек оборудования.

2 Получение разрешения на полет, если это предусмотрено законодательством Российской Федерации (постановление Правительства РФ «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства» от 11.03.2010 № 138) [50]. На данный момент, в соответствии с вышеуказанным постановлением, возможна организация полетов без получения разрешения БВС с максимальной взлётной массой до 30 кг, на высоте менее 150 м, вне зон аэродромов и других зон.

3 Перед взлётом проводится проверка исправности оборудования БВС.

4 Во время полета БВС камера на борту осуществляет снимки или видео с высокой точностью и качеством, по заданным, в соответствии с планом полета, параметрам.

5 После выполнения полета БВС возвращается на базу. Данные, полученные в результате съемки, передаются на обработку.

Обработка данных, полученных после выполнения аэрофотосъемки с использованием БВС, а также построение ортофотопланов, цифровых моделей местности и рельефа осуществляются с помощью следующего ПО: Agisoft Metashape [71], DroneDeploy [83], ЦФС PHOTOMOD [67] и др.

Дистанционные и картографические методы получения пространственных данных имеют ряд преимуществ, таких как низкая стоимость, высокая скорость ра-

бот, однако они не могут быть применены в случаях, когда необходимо более высокая точность измерений Использование этих способов также ограничено законодательством на некоторых участках территорий Российской Федерации.

Существуют и различные наземные методы определения координат, но наиболее точными из них являются геодезические способы: тахеометрическая съемка, измерения с помощью ГНСС, а также наземное и воздушное лазерное сканирование.

В настоящее время тахеометрическая съемка выполняется при помощи электронных тахеометров, которые могут быть техническими или инженерными [61, 62].

Электронные тахеометры обеспечивают высокую точность в определении плановых координат и подходят для работы в городских условиях [9].

Тахеометрическая съемка широко используется для различных целей, таких как создание топографических планов и карт, проектирование зданий, контроль за строительством, деформационный мониторинг, фасадная съемка. Стоит отметить, что применение тахеометрической съемки на объектах лесного или сельского хозяйства нерационально по ряду причин.

1 Точность материалов тахеометрической съемки намного превышает требуемую точность определения координат характерных точек границ.

2 Скорость выполнения работ на объектах с большой площадью намного ниже, по сравнению с иными методам получения пространственных данных.

3 Стоимость тахеометрической съемки на данный момент является одной из самых высоких на рынке геодезических услуг.

Лазерное сканирование земной поверхности, также известное как лидар (от англ. Light Detection and Ranging), является технологией, использующей лазерный луч для измерения расстояний до объектов на земной поверхности.

В процессе лазерного сканирования земной поверхности лазерный луч направляется на поверхность и отражается от нее обратно к датчику. Измеряется время, за которое луч достигает объекта и возвращается обратно, а также угол, под которым он попадает на поверхность. Эти данные используются для вычисления расстояния до объектов и их положения в пространстве.

Для обеспечения высокой точности используется система ГНСС, которая позволяет определить координаты и высоты точек на земной поверхности. На основе обработанных данных формируется трехмерная модель поверхности, используемая для территориального анализа.

Преимуществами лазерного сканирования земной поверхности являются высокая точность и скорость сканирования, а также возможность работать в любых погодных условиях. Однако недостатками являются высокая стоимость оборудования и необходимость наличия квалифицированных кадров для обработки полученных данных.

Для сравнительного анализа вышеперечисленных наземных методов получения пространственных данных была составлена таблица 3.

Таблица 3 – Сравнительная таблица геодезических методов измерения

Метод	Точность (XY, Z)	Стоимость	Оперативность
ДЗЗ (космическая съемка, ИКИ РАН: Канопус-В, Ресурс-П, МКА «Зоркий»)	Средняя (5–30 м: Канопус-В – 2,1–10 м, Ресурс-П – 1–3 м, МКА «Зоркий» – до 0,9 м)	Низкая – средняя (архивные снимки доступны бесплатно, новые – от 50 000 руб. за сцену)	Высокая (архивные снимки доступны сразу, новые – в зависимости от графика съемок, возможна задержка из-за облачности)
БВС (дроны с RTK/PPK: Геоскан 401, Орлан-10, ZALA 421-16E)	Высокая (2–5 см при GCP, 10–20 см без GCP, 2–3 см при RTK/PPK)	Высокая (БВС от 1,5 млн руб., ПО – от 50 000 до 300 000 руб., эксплуатационные затраты – низкие)	Очень высокая (съемка 30–60 мин, обработка данных – от нескольких часов до суток)
Наземные методы (RTK-GNSS, тахеометрия, лазерное сканирование)	Очень высокая (1–2 см при RTK, 5 мм при тахеометрии, 1–3 мм при 3D-сканировании)	Средняя (тахеометр от 800 000 руб., RTK-GNSS от 500 000 руб., 3D-сканеры от 3 млн руб.)	Низкая (съемка занимает несколько дней или недель, данные обрабатываются вручную)

По результатам сравнения, несмотря на относительно низкую оперативность, ГНСС-метод обеспечивает значительно высокую точность по сравнению с альтернативными технологиями дистанционного зондирования.

ГНСС-измерения – это процесс измерения времени и расстояния от спутников навигационных систем до приемника на поверхности Земли или в другом месте в

атмосфере. Измерения производятся путем сравнения времени передачи сигналов, излучаемых спутниками, с временем приема этих сигналов приемником. В основу принципа работы ГНСС заложено решение задачи пространственно-линейной засечки. Главным условием является наличие четырех видимых спутников, так как в составляемой системе уравнений присутствуют четыре неизвестные величины: прямоугольные координаты (X, Y, Z) и разность шкал часов, установленных на спутнике и часов на ГНСС-приёмнике. Таким образом задача заключается на нахождении минимум четырёх расстояний до четырёх видимых спутников.

Существует несколько спутниковых навигационных систем: GPS (Global Positioning System) – США, ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) – Россия, Galileo – (Европа), BeiDou – китайская система. Характеристики систем приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики глобальных навигационных систем

Система	Страна	Кол-во спутников	Высота орбиты (км)	Год первого запуска	Технические характеристики	Покрытие
GPS	США	около 31	около 20 200	1978	сигналы L1, L2, L5	Глобальное
ГЛОНАСС	Россия	около 24	около 19 130	1982	сигналы L1, L2, L3	Глобальное
Galileo	Европейский Союз	около 26	около 23 220	2005	сигналы E1, E5a, E5b, E6	Глобальное
BeiDou	Китай	около 35	около 21 500	2000	сигналы B1, B2, B3	Глобальное

Представленные в таблице данные показывают, что в настоящее время функционируют четыре глобальные навигационные спутниковые системы – GPS (США), ГЛОНАСС (Россия) [36], Galileo (Европейский Союз) и BeiDou (Китай). Все они обеспечивают глобальное покрытие и имеют сопоставимые орбитальные высоты (около 19–23 тыс. км), различаясь по количеству спутников и составу передаваемых сигналов.

В настоящее время существует множество технологий получения пространственных данных, но применение большинства из них нерационально. Наиболее

эффективными методами получения пространственных данных являются аэрофотосъёмки (АФС) с БВС, авиационно-космическая система (АКС) и ГНСС-технологии. Однако применение АФС затруднено сложностью получения разрешений и согласования полетов, а АКС-съемка не обеспечивает требуемой точности выполнения работ. В настоящее время единицы БВС внесены в реестр типов средств измерений в связи с отсутствием методик аттестации и поверки.

ГНСС обеспечивает высокую точность измерений (см. таблицу 3). В отличие от БВС и АКС, ГНСС-технологии не требуют сложных процедур согласования и сертификации. Все это значительно упрощает их внедрение в практику геодезических работ. Кроме того, методология поверки и аттестации ГНСС-оборудования уже регламентирована действующими нормативами, что гарантирует его соответствие установленным требованиям.

1.3 Глобальные навигационные спутниковые системы и сеть дифференциальных геодезических станций

ГНСС представляют собой комплекс технологий, использующих искусственный спутник Земли (ИСЗ) для предоставления данных о геопозиционировании и времени в любой точке Земли или вблизи неё. ГНСС включает в себя следующие сегменты: созвездие ИСЗ, сегмент контроля и управления, а также потребительский сегмент. При проведении ГНСС-измерений не существует ограничений по получению сигналов от спутников тех или иных навигационных систем, поэтому наличие большого числа навигационных систем позволяет наблюдать в достаточной мере полное созвездие спутников. В каждой стране существуют свои нормативно-правовые рамки, регулирующие использование этих технологий.

В России регулирование использования ГНСС, в частности системы ГЛОНАСС, осуществляется через ряд законодательных и подзаконных актов:

– Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 30.12.2015 № 431-ФЗ [40];

– Закон РФ от 20.08.1993 г. № 5663-I «О космической деятельности» [43].

Для обеспечения высокой точности ГНСС-измерений необходимо учитывать ряд факторов, оказывающих влияние на их достоверность. В частности, распространение сигналов спутниковой навигации может сопровождаться ослаблением и искажением при прохождении через атмосферные слои, а также многолучевыми эффектами вследствие отражения от зданий и других объектов на поверхности Земли. Данные явления приводят к систематическим и случайным погрешностям, что требует применения методов коррекции.

К числу наиболее эффективных способов повышения точности относятся дифференциальная коррекция, основанная на использовании эталонных станций, и атмосферная коррекция, учитывающая влияние тропосферных и ионосферных задержек. Применение данных методик позволяет существенно снизить ошибки позиционирования, повысить надежность и метрологическую достоверность получаемых данных, что критически важно для геодезических и инженерных изысканий [54].

Относительные спутниковые определения включают в себя ряд способов, представленных в таблице 5 [3, 17, 82].

Таблица 5 – Характеристики способов относительных спутниковых определений

Категория	Статический метод	Быстростатический метод	Кинематический метод	Stop&Go метод	RTK метод
Источник данных	ГНСС-спутники, требуется фиксированная базовая станция	ГНСС-спутники, базовые станции	ГНСС-спутники, базовые станции	ГНСС-спутники, базовые станции	ГНСС-спутники, базовые станции в реальном времени
Особенности	Высокая точность (< 5 мм), длительная постобработка данных	Подходит для движущихся объектов, минимальная постобработка	Подходит для динамичных объектов, требуется минимальная остановка	Измерения возможны при остановке объекта, минимальная постобработка	Реальное время, передача корректировок от базовой станции

Окончание таблицы 5

Категория	Статический метод	Быстростатический метод	Кинематический метод	Stop&Go метод	RTK метод
Применение	Долговременные наблюдения, высокоточные геодезические исследования, контроль оседания грунтов	Картирование в движении, кадастровые съемки, инженерно-строительные проекты	Позиционирование движущихся объектов (транспорт, профилирование дорог)	Позиционирование объектов с остановками, геодезия, кадастр	Оперативный мониторинг, сельское хозяйство, строительные объекты
Область применения	Геодезия, контроль деформаций, оседания грунтов, исследования на больших участках	Геодезия, кадастр, съемки в движении, инженерные проекты	Позиционирование на транспортных средствах, движущихся объектах	Геодезические работы, кадастровые съемки с остановками объектов	Мониторинг в реальном времени, сельскохозяйственные работы, строительные объекты
Точность	От 5 мм (постобработка)	10–50 мм (постобработка)	30–100 мм	30–100 мм	10–50 мм (реальное время)
Скорость измерений	Низкая: требуется продолжительный сбор данных и их последующая обработка	Средняя: измерения могут выполняться в движении, обработка минимальна	Средняя: можно измерять в движении, но с интервалами	Средняя: измерения выполняются при остановке объекта	Высокая: результаты доступны мгновенно, подходит для оперативных работ
Основные ограничения	Не подходит для быстрого получения результатов, требуется точное позиционирование базовой станции	Чувствителен к препятствиям (здания, леса), точность падает без базовой станции	Зависимость от качества сигнала, снижение точности при препятствиях	Зависимость от качества сигнала, потеря точности на больших расстояниях	Требует стабильного канала связи для передачи данных
Типы используемых спутников	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou

Таблица 5 показывает, что методы относительных спутниковых определений различаются по точности, скорости и условиям применения. Статический метод обеспечивает максимальную точность, но требует значительных временных затрат,

тогда как RTK позволяет получать результаты в реальном времени с меньшей точностью, что делает его удобным для оперативных задач. Промежуточные методы (быстростатический, кинематический и Stop&Go) сочетают умеренную точность и возможность применения в движении либо при кратковременных остановках.

СДГС – это специальные геодезические сети, которые состоят из сети постоянно действующих спутниковых приемников, расположенных на точках с известными координатами. Они используются для выполнения геодезических работ и регулируются Федеральным законом № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [40].

СДГС являются частью ГНСС, специализируется на геодезических и картографических измерениях. Они позволяют проводить точные измерения земной поверхности, что необходимо для создания карт, планирования территорий, строительства и других видов деятельности. Организацию СДГС, а также одиночных базовых станций, могут обеспечивать физические, юридические лица, органы местного самоуправления и государственной власти. При создании сетей необходимо следовать алгоритму действий, определенному законодательством Российской Федерации.

Использование СДГС при выполнении геодезических работ имеет ряд явных преимуществ, таких как возможность выполнения работ одним человеком и уменьшение времени, необходимого для их выполнения. Однако точность измерений, полученных при использовании сетей дифференциальных геодезических станций, остается открытым вопросом.

Одним из ключевых ограничений традиционных дифференциальных методов является снижение точности позиционирования с увеличением расстояния от базовой станции. В то же время, современные геодезические приемники, работающие в режиме RTK, обеспечивают высокую точность за счет использования многочастотных сигналов, фильтрации данных и учета атмосферных возмущений. Интеграция СДГС с RTK-методами позволяет минимизировать погрешности, повысить надежность получаемых координат и обеспечить их метрологическую достоверность в реальном

времени, что делает данный подход востребованным в инженерных изысканиях, кадастровых работах и мониторинге инфраструктурных объектов [5].

ГНСС-приемники разделяют на одночастотные и двухчастотные, в зависимости от количества частот, на которых они могут работать. Каждый из этих типов имеет свои особенности и области применения.

Одночастотные приемники способны работать только на одной частоте, как правило, на основной частоте каждой навигационной системы (GPS L1, ГЛОНАСС L1, Galileo E1, BeiDou B1), такие приемники, как правило, имеют низкую стоимость по сравнению с двухчастотными приемниками за счёт простой конструкции.

Одночастотные приемники распространены и находят применение в большинстве повседневных задач. Однако они имеют небольшую точность, в сравнении с двухчастотными приемниками, особенно в условиях высокой ионосферной активности, которая может вызывать ошибки в определении положения.

Двухчастотные приемники работают на двух частотах одновременно, что позволяет им учитывать ионосферные задержки и повышать точность определения координат. Такие приемники используют две частоты для каждой навигационной системы (GPS L1 и L2, ГЛОНАСС L1 и L2, Galileo E1 и E5a, BeiDou B1 и B2). Они обладают высокой точностью и обычно применяются в геодезии, картографии, сельском хозяйстве, машиностроении и других областях, где требуется высокая точность измерений. Они также могут использоваться для решения задач, которые требуют сантиметровой или даже миллиметровой точностив Real Time Kinematic (RTK). С развитием технологий позиционирования все чаще находят применение мобильные устройства, оснащенные встроенными датчиками и модулями глобальной навигации.

В эпоху цифровых технологий применение мобильных устройств с ГНСС-модулем в различных отраслях народного хозяйства от сельского и лесного хозяйства до целей землеустройства и обеспечения пространственными данными кадастра недвижимости становится все более масштабным. ГНСС-технологии дают новые возможности для повышения эффективности производства, оптимизации ресурсов и улучшения качества жизни населения.

Интеграция ГНСС в мобильные устройства расширяет возможности сбора и анализа геопространственных данных в полевых условиях, обеспечивая оперативность и мобильность выполнения трудоемких процессов. Однако успешное применение таких технологий требует тщательно продуманной методики, учитывающей специфику отрасли и задачи наблюдений, особенности мобильного оборудования и программного обеспечения [69].

Некоторые современные мобильные устройства оснащены различными датчиками, обеспечивающими сбор информации о движении и ориентации устройства. Эти данные могут быть использованы как отдельно, так и в комбинации с другими технологиями для улучшения точности позиционирования. На рисунке 2 наглядно показаны инструменты, используемые для определения местоположения мобильного устройства.

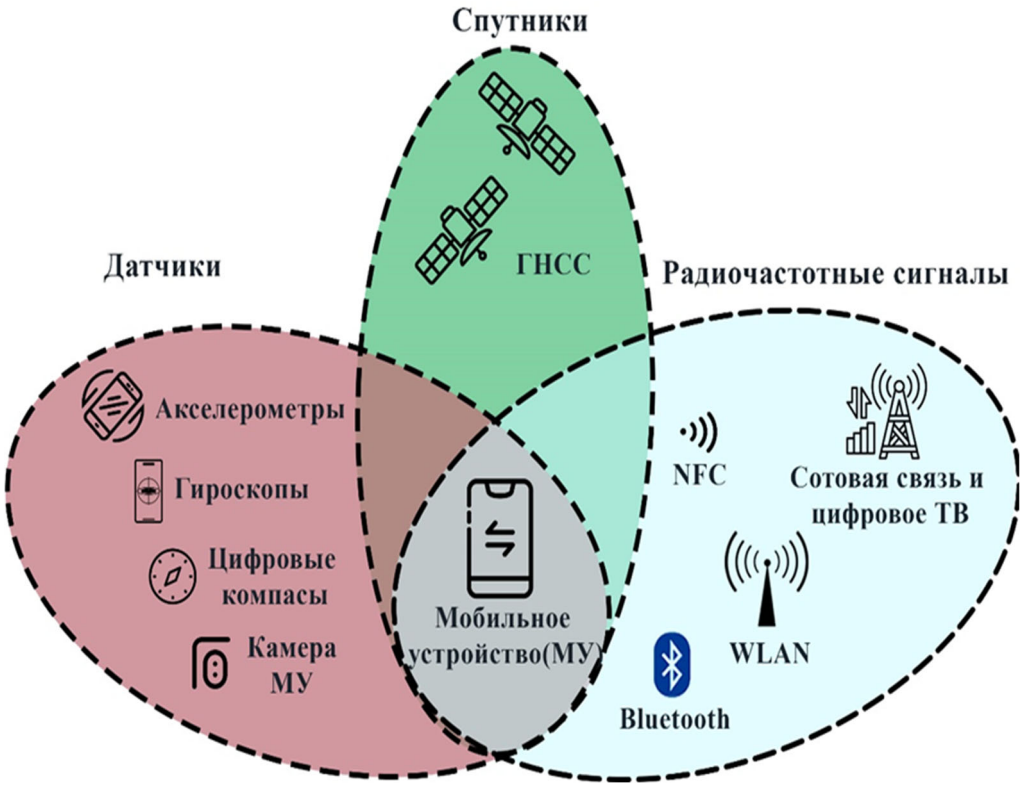

Рисунок 2 – Модули для определения местоположения мобильного устройства

Акселерометр – датчик, который измеряет линейные ускорения устройства в трёх направлениях. Он позволяет отслеживать перемещения устройства в пространстве, например, при ходьбе или движении в автомобиле. Акселерометр измеряет ускорение устройства по трем осям: вперед-назад, влево-вправо и вверх-вниз. Он чувствует, как телефон двигается, если устройство наклоняют вбок или его кто-то трясет.

Гироскоп дополняет данные от акселерометра, отслеживает, как устройство вращается вокруг своих осей, и определяет угловую скорость, т. е. в какую сторону и насколько сильно повернут телефон относительно своей оси.

Магнитометр (цифровой компас) – прибор для измерения характеристик магнитного поля и магнитных свойств материалов. В зависимости от измеряемой величины различают приборы для измерения напряжённости поля, направления поля, градиента поля, магнитной индукции, магнитного потока.

Камера – одна из наиболее универсальных сенсорных систем измерительных технических средств на базе мобильных устройств. Камеры могут использоваться не только для фотографий и видео, но и в целях навигации. Технологии компьютерного зрения дают возможность определять элементы окружающей среды, которые могут использоваться для визуальной одометрии (метода измерения пройденного расстояния на основе анализа последовательных изображений).

Датчики приближения позволяют определять, насколько близко объект находится к устройству. Этот датчик используется в приложениях дополненной реальности и может косвенно помогать в определении пространственного положения мобильного устройства.

Датчики давления, температуры и влажности в основном служат для мониторинга окружающей среды и напрямую не влияют на определение местоположения. Однако данные о давлении могут использоваться для определения высоты устройства над уровнем моря, что важно при навигации в горах или в многоуровневых зданиях.

Важную роль в глобальном позиционировании играют спутниковые навигационные системы. Кроме ГНСС, мобильные устройства могут использовать различные радиочастотные сигналы для определения местоположения, особенно в условиях, когда спутниковая навигация затруднена.

Мобильные устройства могут определять своё местоположение на основе информации от базовых станций сотовой связи. Этот метод эффективен при отсутствии ГНСС-сигнала, например, в зданиях или под землёй.

Wi-Fi (WLAN) – это локальная сеть, построенная на основе беспроводных технологий. При таком способе построения сетей передача данных осуществляется через радиоэфир, а объединение устройств в сеть происходит без использования кабельных соединений.

Bluetooth – это технология беспроводной связи малого радиуса действия, которая соединяет беспроводные девайсы.

NFC (Near Field Communication) – технология беспроводной передачи данных на короткие расстояния. С её помощью можно обменяться фотографиями, оплатить покупки или пополнить проездной при условии, если оба устройства будут находиться на расстоянии не более 10 см.

Для успешного внедрения ГНСС-технологий в различных отраслях необходимо учитывать не только их технические возможности, но и широкий спектр различных аспектов. Одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на распространение и использование ГНСС-устройств, является их стоимость. Анализ цен на отечественные ГНСС-устройства, произведенные компаниями «Прин» и «EFT Group», показывает, что стоимость базовых моделей без учета дополнительного оборудования составляет от 500 тыс. руб. Такая высокая стоимость специализированных ГНСС-приборов может стать значительным барьером для их широкого использования в различных отраслях, таких как сельское хозяйство, лесное хозяйство, особенно для малых и средних предприятий, которым необходимо экономически эффективно применять геодезическое оборудование.

Для сравнения ГНСС-приемников в соотношении цены и функционала были выбраны четыре модели (две – стоимостью до 1 400 000 руб., две – до 270 000 руб.),

так как сопоставление цены и их основных характеристик позволит узнать, какое из оборудований имеет больше преимуществ или недостатков при выполнении различных видов инженерно-геодезических работ (таблица 6).

Таблица 6 – Сравнение моделей ГНСС приемников и их технических характеристик

Тип и модель прибора	Trimble	Leica	EFT	South
Технические характеристики	Trimble R10 США	Leica GS16 Россия	EFT M1 GNSS Китай	South S82V Китай
Количество каналов	440	555	220	220
Вид модема	Сотовый модем	Сотовый модем Модемы GSM / GPRS / UMTS / CDMA и VHF / UHF	Используется для GSM/GPRS	GSM/GPRS модем, а также УКВ модем
С каких видов спутников может принимать сигналы	GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5 ГЛОНАСС: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 SBAS: L1C/A, L5 (для SBAS, поддерживающих L5) Galileo: E1, E5a, E5b BeiDou (COMPASS): B1, B2, B3 QZSS: L1, L5	GPS (L1, L5) QZSS (L1, L5) NavIC (L5)	GPS: L1 C/A, L5 ГЛОНАСС: L1 C/A, L2P Galileo: GIOVE-A, GIOVE-B (E1, E5a, E5b)	GPS: L1 C/A, L5 (резерв) ГЛОНАСС: L1 C/A, L2P SBAS: L1 C/A, L5 (резерв) QZSS: L1 C/A, L5
Основные режимы работы	Кинематика реального времени (RTK), статика, быстрая статика, дифференциальные кодовые замеры	Кинематика (RTK), статика (фаза) с длительными сеансами измерений, быстрая статика	Кинематика, кинематика RTK, статика, быстрая статика, дифференциальные кодовые замеры	Кинематика (RTK), Статика, дифференциальные кодовые замеры

Продолжение таблицы 6

Тип и модель прибора	Trimble	Leica	EFT	South
Вид антенны	Встроенная	Встроенная	Встроенная	Встроенная
В каких форматах записываются полученные данные	RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1, CMR+, CMRx	Leica, Leica 4G, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2 MSM	CMR, CMR+, RTCM 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, 3.1. Также записываются координаты в форме NMEA или в Trimble GSOF	CMR+, RTCM 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, 3.1
Наличие дополнительной карты памяти	Есть	Есть	Есть	Есть
Возможность работы без контроллера	Есть	Есть	Есть	Есть
Коммуникации	RS-232, USB, Bluetooth	RS-232, USB, Bluetooth	Вход RS-232, USB	USB, Bluetooth, RS-232
Управление	Web-интерфейс, кнопки, светодиодные индикаторы	Кнопки и LED индикаторы	С помощью кнопок, а также трех светодиодных индикатора	Кнопки управления и световые индикаторы
Вес прибора	1,12 кг	0,93 кг	1,3 кг	1,2 кг
Аккумулятор	3,7 Ач / 7,4 В	2,6 Ач / 7,4 В	4.4 Ач / 7,4 В	2,3 Ач / 7,4 В
Температурные режимы, при которых может работать	от -40 °С до +65°С	от -45 °С до +65 °С	от -45 °С до +65 °С	от -25 °С до +60 °С
Время работы без дополнительной подзарядки	5,5 ч (с радиомодемом 450 МГц только на прием), 4,5 ч (с радиомодемом 450 МГц на прием и передачу) 3,7 ч (с GSM/GPRS-модемом)	10.00 ч в режиме «статика», 7 ч (внутренний радиомодем, прием данных), 6 ч (внутренний модем, прием/передача данных) 5 ч (внутренний радиомодем, передача данных)	12–15 часов в режиме статика, в GPRS – 8 часов	4,8 часа работы от одной батареи (всего две батареи)

Продолжение таблицы 6

Тип и модель прибора	Trimble	Leica	EFT	South
Размеры	119 х 136 мм	190 х 90 мм	195 х 104 мм	186 х 96
Защита от пыли и влаги	стандарт IP67, защита от временного погружения в воду на глубину до 1 м	IP68	IP67	IP67
Ударостойкость	Выдерживает падение с высоты 2 м на бетон	Выдерживает падение с высоты вехи 2 м на твердую поверхность	Без повреждений переносит вибрации и падение с 3-метровой высоты	Выдерживает падение с высоты 2 м
Точность измерений	Дифференциальная кодовая GPS-съемка В плане 0,25м+1мм/км СКО По высоте 0,50м+1мм/км СКО Высокоточная статика В плане 3мм+0,1мм/км СКО По высоте 3,5мм+0,4мм/км СКО Статика и быстрая статика В плане 3мм+0,5мм/км СКО По высоте 5мм+0,5мм/км СКО Кинематическая съемка в реальном времени (от одиночной базы не далее 30 км) В плане 8мм+1мм/км СКО По высоте 15мм+1мм/км СКО	Дифференциальная кодовая GPS съемка В плане и по высоте 0,25м+1мм/км СКО Высокоточная статика В плане 3мм+0,1мм/км СКО По высоте 3,5мм +0,4мм/км СКО Статика и быстрая статика В плане 3мм+0,5мм/км СКО По высоте 5мм+0,5мм/км СКО Кинематическая съемка в реальном времени (от одиночной базы не далее 30 км) В плане 8мм+1мм/км СКО По высоте 15мм +0,5мм/км СКО	Дифференциальная кодовая GPS съемка В плане 0,25м+1мм/км СКО По высоте 0,50м+1мм/км СКО Статика и быстрая статика В плане 2,5мм+0,5мм/км СКО По высоте 5мм+0,5мм/км СКО Кинематическая съемка в реальном времени (от одиночной базы не далее 30 км) В плане 8мм+1мм/км СКО По высоте 15 мм+1мм/км СКО	Дифференциальная кодовая GPS съемка В плане 0,25 м+1мм/км СКО По высоте 0,50м+1мм/км СКО Статика и быстрая статика В плане 3мм+0,5мм/км СКО По высоте 5мм+0,5мм/км СКО Кинематическая съемка в реальном времени (от одиночной базы не далее 30 км) В плане 8мм+1мм/км СКО По высоте 15мм+1мм/км СКО

Окончание таблицы 6

Тип и модель прибора	Trimble	Leica	EFT	South
Время инициализации	От 2 до 8 с	До 4 с	До 10 с	До 8 с
Стоимость, руб Стоимость на 2024 г. для моделей, являющихся средствами измерений и официально внесённых в Государственный реестр	1 383 417	1 350 000	240 000	261 250

Для проведения земле- и лесоустроительных работ, где требования к точности определения местоположения превышают несколько метров, использование дорогостоящих профессиональных ГНСС-приборов может быть экономически нецелесообразным. В таких случаях мобильные устройства с двухчастотными ГНСС-приемниками представляют собой более доступное и практичное решение.

1.4 Основные положения теории и методов ГНСС измерений с помощью двухчастотных мобильных устройств

С учетом факторов, которые указывают на высокую стоимость оборудования и низкие требования к точности для лесных и землеустроительных работ, был проведен всесторонний анализ отечественной и зарубежной научной литературы, посвященной применению технологий спутниковой геодезии с использованием глобальных навигационных спутниковых систем для определения координат с помощью мобильных устройств. В процессе анализа изучены различные аспекты точности позиционирования, которой можно достичь при использовании различных моделей мобильных устройств и планшетов в различных условиях.

Двухчастотные ГНСС-приемники функционируют с использованием двух различных частот для минимизации погрешностей, вызванных ионосферными возмущениями и другими источниками ошибок. Первым мобильным устройством, оборудованным двухчастотным ГНСС-чипсетом, стал Xiaomi Mi 8, представленный в июне 2018 г. [20, 65].

Результаты анализа представлены в таблице 7 [86, 89, 106, 115, 117], в которой собраны данные о точности плановых координат, достигнутой с использованием различных мобильных устройств, согласно выводам авторов проведенных исследований.

Таблица 7 – Анализ публикаций

Публикация – страна, организация, авторы	Мобильное устройство	Точность плановых координат (м)
Sikirica, T., & Djordjevic, D., 2017, Сербия, Университет Ниш	Huawei P10	5,00–10,00
Zhang, Y., Liu, H., Li, X., & Zheng, Y., 2018, Китай, Университет Цинхуа	Google Nexus 9 (планшет)	< 0,60
Specht, R., Rüther, N., & Schneider, A., 2018, Германия, Технический университет Мюнхена	Samsung Galaxy Y, S3 Mini, S4, S5, S6, S7	3,67–9,62
Lachapelle, G., & Gratton, D., 2019, Канада, Университет Калгари	Huawei Mate 20X	1,00
Liu, H., Zhang, Y., & Li, X., 2019, Китай, Китайский университет геонаук	Google Nexus 9, Huawei P10, Samsung S8	< 2,00
Fortunato, M., & D'Amico, S., 2019, Италия, Университет Бари	Xiaomi Mi 8	1,00–2,00
Robustelli, G., Tofani, V., & Stramigioli, S., 2020, Италия, Университет Сапиенца, Рим	Xiaomi Mi 8, Samsung S8	0,51 (Mi 8) до 5,64 (S8)
Gomes, L., & Krueger, R., 2020, Бразилия, Федеральный университет Санта-Катарины	Xiaomi Mi 8	0,22–1,00
Gomes, L., Klein, A., & Krueger, R., 2021, Бразилия, Федеральный университет Санта-Катарины	Xiaomi Mi 8	0,12–0,88
С. В. Долин, А. В. Мареев, Л. М. Михаханова, 2023, Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация	Xiaomi Mi 8	0,01–0,02

Таблица 7 содержит результаты различных исследований, которые фокусируются на оценке точности определения плановых координат при использовании популярных моделей мобильных устройств и планшетов. Данный анализ может быть использован для обоснования выбора мобильных устройств в задачах, где высокая точность не является критической, таких как лесные и землеустроительные работы.

1 Исследование Sikirica и др. (2017).

В исследовании, проведённом Sikirica и коллегами, было использовано устройство Huawei P10, которое продемонстрировало точность позиционирования в диапазоне от 5,00 до 10,00 м. Такая точность соответствует среднему уровню, приемлемому для задач с низкими требованиями к точности, например, в лесном хозяйстве. Однако для более точных задач, решаемых в геодезических и кадастровых работах, данный уровень может оказаться недостаточным [86].

2 Исследование Zhang и др. (2018).

В работе Zhang и коллег изучалась точность планшета Google Nexus 9, который продемонстрировал высокую точность позиционирования с отклонением менее 0,60 м. Это подтверждает, что современные мобильные устройства, даже планшеты, могут обеспечивать точность, сопоставимую с начальным уровнем специализированных ГНСС-приёмников, что делает их подходящими для широкого спектра геодезических задач [86].

3 Исследование Specht и др. (2018).

Исследование Specht рассматривало несколько моделей Samsung Galaxy (Y, S3 Mini, S4, S5, S6 и S7). Точность этих устройств варьировалась от 3,67 до 9,62 м, что является значительным разбросом. Это указывает на различия в аппаратных возможностях и ГНСС-модулях внутри разных моделей одного производителя. При этом даже более современные модели, такие как Galaxy S7, не демонстрируют приемлемую точность для задач с высокими требованиями к точности [109].

4 Исследование Lachapelle и Gratton (2019).

В этом исследовании было проведено тестирование мобильного устройства Huawei Mate 20X, который продемонстрировал точность на уровне 1,00 м. Такой результат указывает на высокий потенциал современных мобильных устройств для

применения в задачах позиционирования средней точности, таких как землеустроительные работы, где ошибка в пределах одного метра является допустимой [106].

5 Исследование Liu и др. (2019).

Исследование, проведённое Liu и коллегами, сравнивало несколько устройств: Google Nexus 9, Huawei P10 и Samsung S8. Точность плановых координат для этих устройств была меньше 2,00 м, что делает их подходящими для использования в лесном хозяйстве и мониторинге окружающей среды, где требуются достаточно точные, но не предельно детализированные координаты [115].

6 Исследование Fortunato и др. (2019).

Исследования Fortunato с помощью МУ Xiaomi Mi 8 показало точность в диапазоне от 1,00 до 2,00 м, что показывает улучшение точности по сравнению с более ранними моделями. Данную модель можно использовать для задач с умеренными требованиями к точности, включая мониторинг земельных участков и лесного фонда [58, 89].

7 Исследование Robustelli и др. (2020).

В исследовании Robustelli рассмотрено два устройства: Xiaomi Mi 8 и Samsung S8. Точность для Xiaomi Mi 8 составила 0,51 м, что является весьма высоким показателем для мобильного устройства, в то время как для Samsung S8 – до 5,64 м. Устройства одного поколения могут демонстрировать разную производительность в зависимости от установленных ГНСС-модулей [117].

8. Исследование Gomes и Krueger (2020).

Устройство Xiaomi Mi 8 в данном исследовании демонстрирует точность от 0,22 м до 1,00 м, что является одним из лучших результатов среди мобильных устройств.

9 Исследование Gomes, Klein и Krueger (2021) [65].

Последнее исследование, проведённое Gomes и коллегами, снова подтверждает превосходную точность Xiaomi Mi 8, которая варьируется в диапазоне 0,12–0,88 м. Это делает данное устройство одним из лидеров по точности среди мобильных устройств на рынке, что позволяет рассматривать его в качестве замены специализированным ГНСС-приёмникам для ряда задач.

10 Исследование Долина С. В., Мареева А. В. и Михахановой Л. М. (2023) [15].

Исследование, проведённое Долиным С. В. и коллегами, подтверждает высокую точность позиционирования Xiaomi Mi 8 с двухчастотным навигационным модулем BCM47755. При использовании методов RTK и PPP точность составила 0,01–0,02 м для относительного метода и 0,3–0,5 м в статическом режиме PPP. Эксперименты с GPS, Galileo и QZSS, обработанные в RTKLIB и CSRS-PPP, показали, что МУ с двухчастотными модулями подходят для высокоточных спутниковых измерений. Это делает их перспективными для геодезических задач и мониторинга как доступную альтернативу ГНСС-приёмникам.

Анализ данных, представленных в зарубежной литературе, показывает, что современные мобильные устройства, оснащённые двухчастотными ГНСС-приёмниками, способны обеспечивать различную степень точности позиционирования в зависимости от модели, условий работы и применяемых технологий.

Пространственные данные, полученные с помощью ГНСС, важны для определения границ земельных участков. Спутниковые технологии используются для корректировки данных, полученных аэрофотосъёмкой и другими формами дистанционного зондирования. Таким образом, ГНСС-технологии являются неотъемлемой частью современных землеустроительных процессов, в том числе для создания геодезических сетей, служащих основой для большинства видов землеустроительных работ.

Несмотря на значительные преимущества использования ГНСС в землеустроительных работах, их применение сопровождается рядом технических и организационных проблем. Одной из таких проблем является необходимость обеспечения высокой точности в условиях густой растительности и других факторов, ограничивающих работу спутникового сигнала. Кроме того, важно учитывать стоимость специализированного оборудования, что может быть значительным барьером для его широкого использования.

Таким образом, МУ с ГНСС-модулями могут стать экономически выгодной альтернативой для задач, в которых точность позиционирования не является важным фактором.

Применение ГНСС-модулей в сельском хозяйстве значительно влияет на развитие ГНСС-технологии, которые обеспечивают высокую точность в управлении ресурсами. Это особенно важно учитывать в контексте точного земледелия.

При помощи ГНСС в сельском хозяйстве возможно осуществлять мониторинг посевов. В результате, МУ с ГНСС-модулями становятся неотъемлемым инструментом в АПК, способствуя оптимизации производственных процессов.

ГНСС в лесном хозяйстве существенно упрощает процессы картографирования и управления лесными ресурсами. Использование навигационных систем позволяет специалистам оперативно определять местоположение в лесу, что облегчает доступ к необходимым участкам и упрощает ориентирование. Кроме этого, ГНСС-технологии служат основой при создании детализированных карт лесных участков, собирая данные о рельефе, границах и элементах инфраструктуры.

ГНСС активно используется в инвентаризации лесных ресурсов: позволяет точно фиксировать расположение и состояние деревьев, оценивать объем древесины и планировать лесозаготовительные работы. Это способствует предотвращению незаконной вырубки, локализации лесных пожаров и обеспечивает мониторинг состояния экосистем.

Таким образом, МУ с двухчастотными ГНСС-модулями становятся важным и актуальным инструментом в современном землеустроительном, лесном и сельском хозяйстве.

1.5 Выводы по разделу 1

В разделе проанализированы особенности геодезического обеспечения землеустроительных работ для различных категорий земель. Основное внимание уделено важности точных и актуальных пространственных данных для эффективного управления такими территориями, а также современным технологиям, которые позволяют получать эти данные с высокой степенью точности.

Отметим, что интеграция современных спутниковых технологий, таких как ГНСС, позволит:

– существенно повысить точность пространственных данных, что особенно важно для определения границ земельных участков;

– обеспечить более быстрый доступ к данным, с целью сокращения временных и финансовых затрат на землеустроительные работы;

– повысить качество мониторинга состояния земель, позволяя оперативно отслеживать изменения в использовании и состоянии земельных ресурсов.

В настоящее время управление сельскими и лесными территориями требует регулярного обновления информации о состоянии земель и природных ресурсов. Тем не менее, традиционные методы получения пространственных данных зачастую оказываются недостаточно эффективными, что приводит к ряду проблем:

– низкая точность данных, усложняющая процесс принятия решений в сфере управления земельными ресурсами;

– трудности доступа к данным в реальном времени, особенно в отдалённых и труднодоступных районах, что приводит к задержкам в обновлении информации;

– высокие затраты на проведение полевых измерений, требующие значительных финансовых и временных ресурсов.

Одним из ключевых решений для этих проблем стало использование спутниковых технологий, в том числе ГНСС, а также БВС и мобильных устройств с ГНСС-модулями. Среди ключевых преимуществ таких технологий можно выделить следующие.

Оперативность. Использование ГНСС и БВС позволяет получать данные в реальном времени.

Точность. Современные ГНСС-устройства, особенно с поддержкой двухчастотных приёмников, позволяют получать данные с высокой степенью точности, что особенно важно для таких задач, как определение границ участков и картографирование.

Экономическая эффективность: Применение мобильных устройств с ГНСС-модулями снижает затраты на получение пространственных данных, делая их доступными для более широкого круга пользователей.

В первом разделе проанализировано применение ГНСС в сочетании с СДГС для повышения точности геодезических измерений в землеустроительных и кадастровых работах.

Немаловажным фактором является доступность сетей СДГС на территории Российской Федерации, что делает возможным применение мобильных устройств с ГНСС-приёмниками для высокоточных измерений в реальном времени. Это открывает новые возможности для применения ГНСС-технологий в рутинных землеустроительных и кадастровые процессы, что сделает их более доступными и экономически выгодными.

В первом разделе исследованы преимущества двухчастотных приёмников, встроенных в современные мобильные устройства, их потенциал для точных измерений, а также перспективы их применения в геодезических и землеустроительных работах.

Основной акцент в диссертационном исследовании был сделан на том, что двухчастотные ГНСС-приёмники обеспечивают более высокую точность позиционирования по сравнению с одночастотными устройствами, за счёт возможности компенсировать искажения сигналов, вызванные прохождением через ионосферу.

Кроме того, использование двухчастотных ГНСС-модулей в мобильных устройствах предоставляет экономически выгодное решение для тех случаев, когда приобретение специализированного геодезического оборудования может оказаться слишком затратным. Эти устройства уже демонстрируют достаточный уровень точности для выполнения рутинных землеустроительных работ и мониторинга земель с низкими требованиями к точности.

На основании проведённого в первом разделе анализа можно сделать вывод о необходимости совершенствования методики геодезического обеспечения землеустроительных работ и мониторинга земель с использованием СГНСС.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ДАННЫХ МОБИЛЬНЫХ ГНСС-УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА

2.1 Исследование программного обеспечения мобильного устройства для фиксации ГНСС-наблюдений

Исследование программного обеспечения МУ для фиксации ГНСС-наблюдений двухчастотным мобильным телефоном является важным аспектом разработки и анализа приложений, предназначенных для определения и улучшения точности геопозиционирования.

Цель такого исследования заключается в оценке и сравнении различных программных решений, позволяющих МУ с двухчастотными ГНСС-приемниками получать и обрабатывать данные о местоположении с высокой точностью.

Само исследование данной темы может быть разделено на несколько этапов.

1 Обзор существующих решений. Изучение и анализ доступных на рынке программных продуктов, предназначенных для работы с двухчастотными ГНСС-приемниками.

2 Оценка функционала. Оценка возможностей и ограничений каждого программного решения, анализ функций, таких как поддержка различных ГНСС-систем, корректирующих данных (например, RTK или Precise Point Positioning (PPP)), интеграция с другими датчиками мобильного устройства и пользовательский интерфейс [91].

Исследование посвящено подбору программного обеспечения для МУ, которое позволяет получать и хранить данные спутниковых измерений. В современных условиях всё большее число приложений обеспечивают доступ к необработанным данным ГНСС и сохраняют эти данные либо в собственных форматах, либо в универсальном формате RINEX, который широко используется в геодезии, научных исследованиях и задачах, связанных с точным позиционированием. Обзор существующих ПО приведен в таблице 8, где представлены все приложения фиксации ГНСС-измерений в Android.

Таблица 8 – Приложения фиксации ГНСС-данных в операционной системе (ОС) Android

Приложение	Разработчик	Страна	Формат вывода данных
RinexOn	MOBILE-GIS	Россия	RINEX
GNSSLogger	Google	США	CSV, NMEA и RINEX
Geo++ RINEX Logger	Geo++ GmbH Company	Германия	RINEX
rtklibexplorer	F9P и IMU	США	NMEA, RINEX
GalileoPVT	Европейское космическое агентство (ESA)	ЕС	CSV и NMEA
G-Ritz Logger	Университет Рицумэйкан	Япония	NMEA, RINEX
ГНСС/IMU Android Logger	Университет оборонных технологий Мюнхена	Германия	CSV, RINEX и данные IMU

При работе с приложениями для записи и обработки необработанных данных ГНСС важно учитывать версию как приложения, так и операционной системы МУ. Совместимость программного обеспечения с определенными версиями Android и прошивки производителя может значительно влиять на корректность работы приложений.

1 GNSSLogger – бесплатное мобильное приложение для Android, которое предназначено для детального анализа и регистрации различных данных о местоположении и сенсорах, включая GPS и сетевое местоположение. Разработчик – Google. Приложение предоставляет доступ к первичным данным, включая псевдодальности, фазы несущих, доплеровские сдвиги и статусы спутников, что критически важно для разработки навигационных алгоритмов и технологий позиционирования [97].

2 GEO++ RINEX Logger – инструмент для регистрации местоположения и времени события и данных, сгенерированных из него, использующий последние службы Android API для регистрации необработанных данных измерений GNSS

устройства в файле RINEX, включая псевдодальности, фазы несущей, доплеровские частоты и значения шума [116].

3 RinexOn – ПО, которое использовалось для исследований. Приложение предусмотрено для устройств Android, предназначено для записи и экспорта данных ГНСС в формате RINEX. Оно записывает необработанные данные от спутниковых систем о фазе несущей волны, псевдодальностях и кодовых измерениях, которые могут быть использованы для точных геодезических измерений и других задач, требующих высокой точности позиционирования.

Совместимость с различными устройствами Android. Приложение разработано для работы на устройствах Android, начиная с версии Android 7.0, поддерживающих доступ к необработанным данным ГНСС. Однако важно отметить, что не все устройства Android имеют возможность доступа к таким данным. Поддержка необработанных данных ГНСС появилась на некоторых устройствах только с версии Android 7.0 и выше, и важным критерием является наличие аппаратного обеспечения, способного записывать такие данные. Пример совместимых устройств включает некоторые модели телефонов Xiaomi, Huawei, Google Pixel и других.

Постоянные обновления. Приложение регулярно обновляется для обеспечения совместимости с новыми устройствами и версиями Android. Это важно, так как обновления операционной системы и прошивки могут влиять на доступ к необработанным данным. Обновления приложения могут также включать улучшения в записи данных, расширение возможностей настройки и поддержку новых форматов или систем ГНСС.

RinexOn активно используется в различных областях, где требуются точное позиционирование и постобработка данных [116].

В исследовании использовалось данное ПО, потому что формат данных удобен в использовании (рисунок 3).

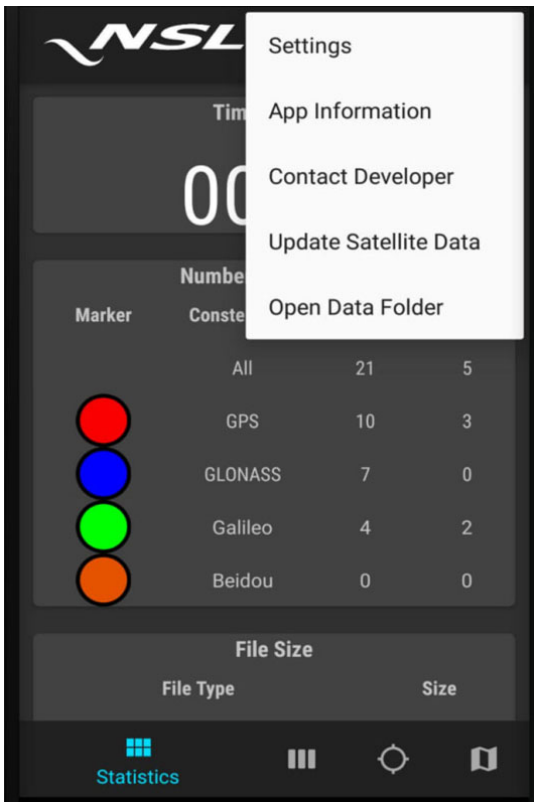

Рисунок 3 – Приложение RinexOn

В исследовании, проведённом на МУ Xiaomi Mi 8 с Android 10 (MIUI 12.0.1) и Xiaomi Mi 11 с Android 12.5.4 (MIUI 12.5.4.0), было обнаружено, что приложения RinexOn (версия 1.3) и GNSS Compare (версия 0.53) не работали корректно на модели Mi 11.

Однако после обновления ПО до версии MIUI 13.0.4 приложение RinexOn (версия 1.3) начало функционировать без проблем, что подчеркивает важность обновления операционной системы и приложений для обеспечения их работоспособности.

4 RTKLIBExplorer – это подробный онлайн-ресурс и блог, посвященный практическому применению RTKLIB, открытой программной библиотеки для обработки данных ГНСС в режиме реального времени и постобработки. RTKLIB, разработанная Такасу Масей в 2006 г., стала одним из наиболее распространенных инструментов для обработки сырых ГНСС-данных благодаря своей гибкости и открытости [118].

5 Galileo Position, Velocity, Time (Galileo PVT) – это специализированное программное обеспечение, разработанное Европейским космическим агентством (European Space Agency, ESA) для обработки и анализа навигационных данных глобальной навигационной спутниковой системы Galileo. Основная цель Galileo PVT заключается в предоставлении пользователям точных решений по положению, скорости и времени (PVT) с использованием уникальных возможностей системы Galileo [90].

6 G-Ritz Logger – это специализированное программное обеспечение для записи сырых данных ГНСС, разработанное Университетом Рицумэйкан в Японии. Программа предназначена для сбора и сохранения навигационных данных высокого качества, необходимых для точного позиционирования и геодезических исследований [97].

7 ГНСС/IMU Android Logger – это инновационное мобильное приложение, разработанное Университетом бундесвера в Мюнхене (Universität der Bundeswehr München), предназначенное для сбора и анализа данных ГНСС и Inertial Measuring Unit (IMU) на устройствах с операционной системой Android. Приложение предоставляет уникальную возможность использовать повсеместную доступность МУ и планшетов для научных и инженерных целей в области навигации и позиционирования [102].

Для проверки устройств, поддерживающих доступ к необработанным данным ГНСС, в качестве основного источника информации используется сайт разработчиков Android. На сайте можно найти актуальные сведения о том, какие устройства и версии операционной системы поддерживают эту функцию. Для более глубокого анализа и проверки совместимости различных мобильных устройств рекомендуется обращаться к базе данных приложения GPSTest. Эта база регулярно обновляется и содержит сведения о тысячах моделей смартфонов. Доступ к базе возможен через браузер Google Chrome, где представлены подробные характеристики поддержки функций работы с необработанными данными ГНСС.

В базе GPSTest можно найти информацию о том, какие устройства позволяют использовать «сырые» данные спутниковой навигации. Указываются сведения

о поддержке различных систем, включая GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou и др. Эта информация даёт исследователям и пользователям возможность более обоснованно подбирать устройства под конкретные задачи.

Следует учитывать тот факт, что уровень поддержки функций ГНСС варьируется у разных моделей. Например, смартфон Xiaomi Mi 8 Global предоставляет доступ к данным о фазе несущей волны, тогда как другие версии этой линейки – Mi 8 Lite и Mi 8 SE – такой возможности могут не обеспечивать. Это делает выбор устройства критически важным в зависимости от требований к точности и качеству данных.

В контексте использования технологий ГНСС на мобильных устройствах под управлением Android можно выделить два ключевых подхода к сбору данных для позиционирования: классический метод и современный метод, каждый из которых имеет свои особенности и сферы применения.

1 Классический метод.

Этот метод использует стандартные application programming interface (API) Android для работы с геолокацией, которые предоставляют доступ к уже обработанным данным ГНСС. В данном случае пользователь может получать только конечные результаты вычислений, выполненных встроенным в устройство ГНСС-модулем, а именно данные о местоположении, скорости и времени (PVT). Эти данные формируются на основе сигналов со спутниковых систем, таких как GPS, GLONASS, Galileo или BeiDou, и передаются приложению в упрощённой форме, готовой к использованию для базовой навигации.

Классический метод сводится к ограниченному доступу к данным, когда пользователь не имеет возможности работать с необработанными ГНСС-данными.

Также метод характеризуется минимальными вычислительными затратами, поскольку все вычисления выполняются встроенными алгоритмами ГНСС-модуля и приложения на Android не требуют дополнительных ресурсов для обработки данных.

Классический метод подходит для задач, где высокая точность не критична, например, для автомобильной навигации или пеших прогулок.

Хотя данный метод удобен для решения повседневных задач навигации, его применение ограничено, когда речь идёт о получении высокоточных данных, требуемых, например, для геодезии или детального мониторинга территорий. Точность в таких случаях оказывается недостаточной: погрешности могут достигать от нескольких метров до десятков метров в зависимости от условий приёма спутникового сигнала, например, при плотной городской застройке или под пологом густой растительности.

2 Современный метод.

Современный метод сбора данных на устройствах Android предоставляет доступ к необработанным ГНСС-данным, что значительно расширяет возможности для проведения точных и детализированных измерений. Данный подход стал возможен благодаря API Android, который позволяет приложениям получать так называемые «сырые» данные ГНСС, включая информацию о фазе несущей, псевдодальности и других параметрах, необходимых для более точных вычислений.

Представим основные характеристики современного метода.

Доступ к сырым данным ГНСС – в отличие от классического метода, современные API предоставляют доступ к данным, не прошедшим предварительную обработку. Это позволяет разработчикам создавать собственные алгоритмы для повышения точности позиционирования, что особенно важно для научных и геодезических задач.

Многосистемная поддержка – современные устройства Android могут использовать данные сразу из нескольких спутниковых систем (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou и др.).

Для данного метода можно использовать фазовые измерения, в счёт того, что доступ к фазе несущей позволяет реализовать более точные методы определения координат, такие как постобработка данных или использование дифференциальных методов (RTK, или постобработанные решения).

Применение современного метода позволяет значительно сократить погрешности, вплоть до сантиметров, что делает его полезным для применения в таких сферах, как геодезия, кадастровые работы, мониторинг земельных и лесных угодий.

Современные методы работы с данными предполагают использование специализированных программных решений для их сбора и последующей обработки. В качестве примера можно привести приложение Geo++ RINEX Logger, которое предоставляет возможность фиксировать необработанные ГНСС-наблюдения в формате RINEX. Такой формат является универсальным и широко применимым для дальнейшей обработки. Это делает его удобным инструментом при выполнении высокоточных геодезических работ, а также в рамках научных исследований.

Классический метод удобен для быстрых задач, где не требуется высокой точности, однако его основным ограничением является невозможность работы с необработанными данными и точность, которая варьируется в зависимости от внешних факторов. Современный метод, напротив, открывает широкие возможности для разработки точных систем позиционирования и обработки данных, но требует большего вычислительного ресурса и специализированного программного обеспечения для реализации высокоточных решений.

В результате исследования, проведенного на устройствах Android, было выявлено, что для задач, требующих точного позиционирования, наиболее эффективно использовать программы, поддерживающие сбор сырых ГНСС-данных, такие как Geo++RINEX Logger, что значительно расширяет возможности постобработки.

2.2 Анализ программных продуктов для обработки данных

Второе исследование было сосредоточено на анализе программных средств, применяемых для обработки данных с использованием ГНСС на персональных компьютерах. В рамках работы выполнена сравнительная характеристика функциональных возможностей различных программ и проверена достоверность получаемых с их помощью результатов. Отдельное внимание уделялось качеству вычислений координат и высот, особенностям алгоритмов обработки изображений, а также гибкости настройки параметров при работе с данными. Основным критерием оценки выступала точность обработки результатов ГНСС-наблюдений в разных

программных продуктах и их сопоставление между собой. Были выявлены наиболее оптимальные решения для практического применения с учётом предъявляемых требований к точности.

Для анализа были выбраны следующие программные продукты.

1 Программное обеспечение EFT Post Processing (версия 2.0.0.7), предназначенное для постобработки ГНСС-данных с целью повышения точности измерений. В ПО реализованы алгоритмы автоматической коррекции ошибок, таких как многолучевость и погрешности, вызванные атмосферными явлениями, что способствует улучшению качества получаемых результатов. Программа поддерживает два режима обработки данных – статический и кинематический. В статическом режиме проводится расчет координат стационарных точек, который применяется для создания геодезических сетей. В кинематическом режиме обработка данных ориентирована на движущиеся объекты, это расширяет область применения программы в мониторинге подвижных объектов. В ходе тестирования программа показала минимальные отклонения от среднего значения координат, что свидетельствовало о стабильности работы в различных конфигурациях, включая как одиночные, так и многопозиционные приемники [84].

2 Программный комплекс Кредо ГНСС (версия 2.0) разработан для обработки спутниковых измерений и оснащён инструментами, ориентированными на решение задач геодезического характера. Важным преимуществом является поддержка различных референцных систем координат, что особенно актуально при реализации проектов в регионах с разными стандартами координатных сетей. Программа обеспечивает экспорт результатов в несколько форматов, что облегчает их дальнейшее использование в сторонних программных продуктах. При оценке качества обработки Кредо ГНСС продемонстрировало незначительные расхождения относительно усреднённых значений, однако точность вычислений может снижаться при сложных условиях работы: в присутствии помех, мультипутей, плотной застройки или густой растительности. Эти факторы необходимо учитывать на этапе планирования, поскольку качество исходных наблюдений напрямую влияет на итоговую точность. Поддержка разных типов данных и наличие нескольких режимов

обработки (в том числе статического и кинематического) делают программу универсальной и адаптируемой под широкий спектр задач. Вместе с тем интерфейс может оказаться достаточно сложным для специалистов без опыта работы с подобными системами, что предполагает необходимость временных затрат на освоение функционала. Точность программы также зависит от условий наблюдения. В условиях внешних помех или сложных географических особенностей может наблюдаться снижение точности результатов, что ограничивает применение ПК в трудных условиях [77, 112].

3 Программное обеспечение CHC Geomatics Office (версия 1.0.7) [75] предназначено для постобработки данных ГНСС и решения сложных геодезических задач. Оно поддерживает коррекцию данных с использованием различных математических моделей, что способствует повышению точности при обработке ГНСС-измерений. Программа интегрируется как с ГНСС-приемниками производства CHC, так и с устройствами других производителей, это позволяет применять ее в различных геодезических проектах. Одной из ключевых особенностей программы является способность обрабатывать большие объемы данных, таким образом появляется возможность эффективно работать с данными от множества приемников. Программа формирует отчеты, которые содержат сведения о координатах и точности измерений. Тестирование показало, что расхождение координат от реальных значений минимально, это свидетельствует о высокой точности обработки данных. CHC Geomatics Office продемонстрировало стабильность работы в различных географических условиях, т. е. оно устойчиво к внешним воздействиям. Однако стоит отметить, что программное обеспечение имеет и ряд ограничений: высокая стоимость лицензии снижает доступность для небольших организаций и проектов, также требуется дополнительная настройка при подключении оборудования сторонних производителей, что удлиняет подготовительный этап работы.

4 Topcon Tools (версия 8.2.3) [126].

Программное обеспечение Topcon Tools (версия 8.2.3) предназначено для обработки данных, полученных с ГНСС-систем, и для решения спектра геодезических задач. Программа предоставляет расширенные возможности для анализа

ГНСС-данных, включая как стандартные, так и углубленные исследования, а также детализированные отчеты о выполненных измерениях. Система поддерживает разные типы геодезических проектов – от кадастровых работ до комплексного мониторинга территорий и объектов. В её состав входят инструменты постобработки наблюдений, средства исправления ошибок, моделирования и визуализации, что обеспечивает получение точных и наглядных результатов для практического применения. По уровню точности Topcon Tools не уступает другим профессиональным решениям: в ходе испытаний выявлены минимальные расхождения координат относительно эталонных значений, и это подтверждает надёжность обработки. К основным достоинствам можно отнести широкий спектр инструментов для решения сложных задач, возможность анализа больших объёмов данных. Тем не менее, у программы есть и ограничения. Высокая стоимость лицензии существенно снижает доступность для небольших организаций и проектов с ограниченным финансированием. Кроме того, настройка системы может быть достаточно трудоёмкой, особенно при работе с оборудованием, не относящимся к линейке Topcon, либо при решении нестандартных задач, что увеличивает время подготовки к эксплуатации.

В рамках данного исследования были выбраны четыре контрольных пункта с известными координатами для проведения обработки данных с использованием всех четырёх программ. Исходными пунктами для обработки в программе были выбраны пункты 50BR и 50VO, которые служили референсными для дальнейшего анализа точности координат.

Эксперимент проводился на научно-учебной базе (НУБ) Чкаловского государственного университета по землеустройству, расположенной в городском округе Лосино-Петровский, село Аниксино. Это место было выбрано благодаря стабильным многолетним исследованиям его геодезической сети и наличию опорных пунктов, что позволило минимизировать влияние внешних факторов на точность данных (рисунок 4).

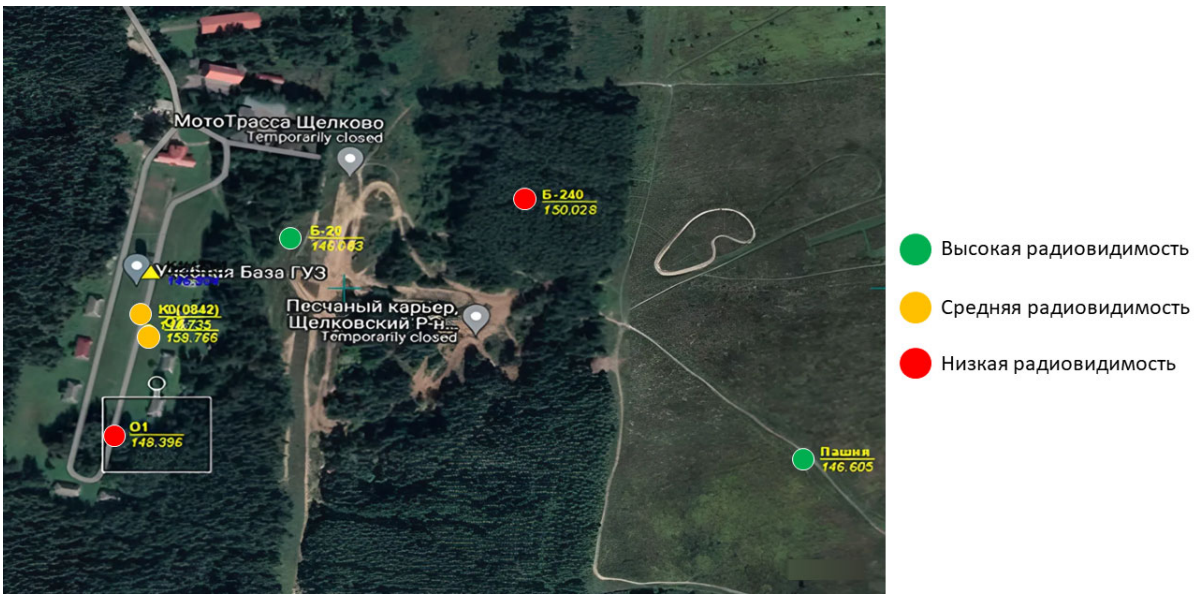

Рисунок 4 – Схема расположения пунктов на местности

Результаты обработки, полученные в программе EFT Post Processing (версия 2.0.0.7) [84], представлены в таблице 9, где содержатся измеренные координаты контрольных пунктов, а также отклонения по осям X и Y относительно их известных значений, это позволяет провести детальный анализ точности каждой программы и сравнить их результаты в равных условиях, обеспечив достоверные и взвешенные выводы.

Таблица 9 – Каталог координат и отклонений, полученных с помощью программы EFT Post Processing (версия 2.0.0.7)

Точка	СКП, X(mm)скп	СКП, (mm)	СКП, (mm)
50V2	84,9	88,9	93,9
77MS	26,3	51,8	53,1

Данные, представленные в таблице 9, отражают координаты и стандартные отклонения измеренных координат для четырех точек: 50BR, 50V2, 50VO и 77MS. Координаты X, Y и Z представлены в метрах, а стандартные отклонения по осям X, Y и Z измерены в миллиметрах.

Координаты точки 50V2 показывают наибольшие отклонения среди всех представленных точек. Отклонение по оси X составляет 84,9 мм, по оси Y – 88,9 мм, а по оси Z – 93,9 мм, это указывает на значительные отклонения в измерениях по сравнению с другими точками. Это может быть связано как с географическим положением пункта, так и с условиями проведения наблюдений (например, наличие помех, ограниченная видимость спутников).

Точка 77MS показывает умеренные отклонения, которые составляют 26,3 мм по оси X, 51,8 мм по оси Y и 53,1 мм по оси Z. Эти значения свидетельствуют о наличии отклонений, однако они остаются в пределах допустимой погрешности для большинства геодезических задач, особенно в условиях работы с земельными участками сельскохозяйственного назначения.

Таким образом, наибольшее отклонение наблюдается у точки 50V2, где отклонение в плане составляет 86 мм, а по высоте – 93 мм, что требует дополнительного анализа возможных причин таких отклонений.

Результаты обработки, полученные в Кредо ГНСС (версия 2.0) [77], представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Каталог координат и отклонений, полученных с помощью программы Кредо ГНСС (версия 2.0)

Точка	СКП NE, м	СКП N, м	СКП E, м	СКП H, м
50V2	0,0983	0,0812	0,0554	0,1415
77MS	0,0374	0,0312	0,0206	0,0540

Как видно из таблицы 10, точка 50V2 демонстрирует наибольшие отклонения среди всех представленных точек. Среднеквадратическое отклонение в плане (СКП NE) составляет 0,0983 м (98 мм), по направлению на север (СКП N) – 0,0812 м (81 мм), по направлению на восток (СКП E) – 0,0554 м (55 мм), а по высоте (СКП H) – 0,1415 м (142 мм). Эти данные указывают на наличие значительных по-

грешностей в измерениях, что может быть связано с условиями проведения наблюдений, такими как наличие помех, препятствий или сложных географических условий.

Точка 77MS показывает умеренные отклонения. В плане (СКП NE) отклонение составляет 0,0374 м (37 мм), по направлению на север (СКП N) – 0,0312 м (31 мм), по направлению на восток (СКП E) – 0,0206 м (21 мм), а по высоте (СКП H) – 0,0540 м (54 мм). Эти значения также остаются в допустимых пределах для большинства геодезических задач, хотя точка демонстрирует меньшую точность по сравнению с точками 50BR и 50VO.

Таким образом, самое большое отклонение наблюдается у точки 50V2, где отклонение в плане составляет 98 мм, а по высоте – 142 мм. Эти результаты требуют особого внимания и дальнейшего анализа условий проведения измерений, чтобы выявить причины столь значительных отклонений.

Результаты обработки, полученные в CHC Geomatics Office (версия 1.0.7) [75], представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Каталог отклонений, полученных с помощью программы CHC Geomatics Office (версия 1.0.7)

Точка	Погр.X(м)	Погр.Y(м)	Погр.Z(м)
50V2	0,010	0,010	0,018
77MS	0,011	0,010	0,018

В таблице 11 представлены данные о координатах и отклонениях, полученных с использованием программы CHC Geomatics Office (версия 1.0.7), для четырех точек: 50BR, 50V2, 50VO и 77MS. В таблице приведены значения координат по осям X, Y и Z, а также погрешности по этим координатам, выраженные в метрах.

Точка 50V2 демонстрирует наибольшие отклонения среди всех точек. Погрешность по осям X и Y составляет по 0,010 м (10 мм), а погрешность по оси Z – 0,018 м (18 мм). Эти значения указывают на наличие незначительных отклонений в измерениях, однако данные остаются в пределах, допустимых для большинства геодезических задач.

Точка 77MS также имеет небольшие отклонения: погрешности по осям X и Y составляют по 0,011 м (11 мм), а по оси Z – 0,018 м (18 мм). Эти отклонения аналогичны точке 50V2 и находятся в пределах допустимых погрешностей для высокоточных измерений.

Таким образом, наибольшие отклонения наблюдаются у точки 50V2, где погрешность в плане составляет 10 мм, а по высоте – 18 мм. Эти отклонения остаются незначительными и могут быть приняты для большинства практических задач, однако требуют учета при выполнении работ, требующих высокой точности, например, в кадастровых или инженерно-геодезических изысканиях.

Результаты обработки, полученные в Topcon Tools (версия 8.2.3) [126], представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Каталог отклонений, полученных с помощью программы Topcon Tools (версия 8.2.3)

Точка	СКП по оси X	СКП по оси У	СКП по высоте
50V2	0,014	0,011	0,026
77MS	0,020	0,015	0,035

В таблице 12 представлен каталог координат и среднеквадратических отклонений (СКО), полученных с помощью программы Topcon Tools (версия 8.2.3), для четырех точек: 50BR, 50V2, 50VO и 77MS. В таблице указаны координаты по осям X, Y, Z, а также значения СКП по осям X, Y и по высоте.

Точка 50V2 демонстрирует небольшие отклонения: СКП по оси X составляет 0,014 м (14 мм), по оси Y – 0,011 м (11 мм), а по высоте – 0,026 м (26 мм). Полученные результаты находятся в пределах допустимых норм для геодезических задач.

Точка 77MS демонстрирует максимальное отклонение среди всех точек. СКП по оси X – 0,020 м (20 мм), по оси Y – 0,015 м (15 мм), а по высоте – 0,035 м (35 мм), что указывает на значительные отклонения, особенно по высоте.

Далее было выполнено сравнение координат относительно их средних значений, а также относительно известных координат. Итоги анализа представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнение полученных координат

Отклонение от среднего значения, мм												
	EFT Post Processing			ГНСС			CHC Geomatics Office			Topcon Tools		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
50V2	4,2	2,3	0,2	-9,4	-3,5	0,0	0,8	0,2	-2,6	4,3	1,1	2,5
77MS	1,9	3,0	0,3	-1,4	-6,2	-0,7	-1,1	1,4	-1,6	0,5	1,7	2,0
Отклонение от истинного значения												
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
50V2	3,2	4,1	2,8	-10,4	-1,8	2,6	-0,2	1,9	0,0	3,3	2,8	5,1
77MS	2,2	2,1	-1,0	-1,2	-7,1	-2,0	-0,9	0,5	-2,9	0,7	0,8	0,7

Из данных таблицы 13 можно сделать вывод о том, что полученные координаты отличаются как от среднего значения, так и от известных истинных координат. Величина отклонений варьируется в зависимости от программы обработки, при этом наибольшие отклонения наблюдаются у точки 50V2. Для 50V2 при сравнении с истинными координатами отклонения по оси X достигают 10,4 мм при использовании Кредо ГНСС, а наименьшее отклонение по оси X – всего 0,2 мм – наблюдается при использовании CHC Geomatics Office. Аналогичная ситуация прослеживается по осям Y и Z.

У точки 77MS также есть отклонения, особенно по оси Y при использовании Кредо ГНСС – 7,1 мм, что указывает на возможные погрешности в данных, которые получены при использовании программы CHC Geomatics Office.

На основании этих данных можно сделать вывод, что полученные координаты имеют существенные расхождения с известными значениями, что требует дальнейшего анализа, включая расчет СКП для более точной оценки качества измерений и их соответствия истинным значениям. СКП будет представлять собой более надежный индикатор точности данных, полученных в ходе эксперимента. Для этого была

выполнена оценка точности, где определялось среднеквадратическое отклонение в плане и по высоте. Результаты приведены в таблице 14.

Таблица 14 – СКП определения координат пунктов

Точки	СКП, мм			
	EFT Post Processing	Credo ГНСС	CHC Geomatics Office	Topcon Tools
50V2	5,2	10,5	1,9	4,4
77MS	3,0	7,2	1,0	1,1

Согласно данным таблицы 14, наилучшие результаты обработки спутниковых измерений показало программное обеспечение CHC Geomatics Office версии 1.0.7, где величина СКП составила 2 мм. Следует учитывать, что разные программные комплексы, применяемые для обработки ГНСС-наблюдений, могут выдавать отличающиеся значения СКП, которые не всегда соответствуют реальным. Этот факт свидетельствует о различиях в алгоритмах и математических моделях, реализованных в данных продуктах.

В связи с этим необходимо провести исследование, направленное на выявление и сравнение данных различий, так как корректность выбора метода обработки напрямую влияет на достоверность конечных результатов. В рамках анализа использовались стандартные версии программного обеспечения без применения дополнительных настроек и специализированных параметров, дало возможность оценить их функциональность в базовых условиях работы.

Можно сделать вывод о том, что CHC Geomatics Office продемонстрировал хорошее сочетание функциональности и точности, но потребовал большей настройки.

Общая оценка программных продуктов показала, что каждая программа имеет свои особенности и сильные стороны, выбор ПО зависит от конкретных задач и требований пользователя. Для задач исследования решено разработать уникальное ПО.

2.3 Факторы, влияющие на точность получения данных

При изучении вопроса точности получения данных с помощью ГНСС-наблюдений стало ясно, что на качество этих данных оказывают влияние множество факторов. К таким факторам относятся как естественные условия, так и технические характеристики оборудования [15].

Одним из ключевых моментов является многолучевость (Multipath effects) сигналов, которая возникает, когда сигналы ГНСС отражаются от различных поверхностей, таких как здания или горы, прежде чем достигнуть приемника. Это может вызвать интерференцию и ошибки в измерениях, что существенно снижает точность определения местоположения (рисунок 5).

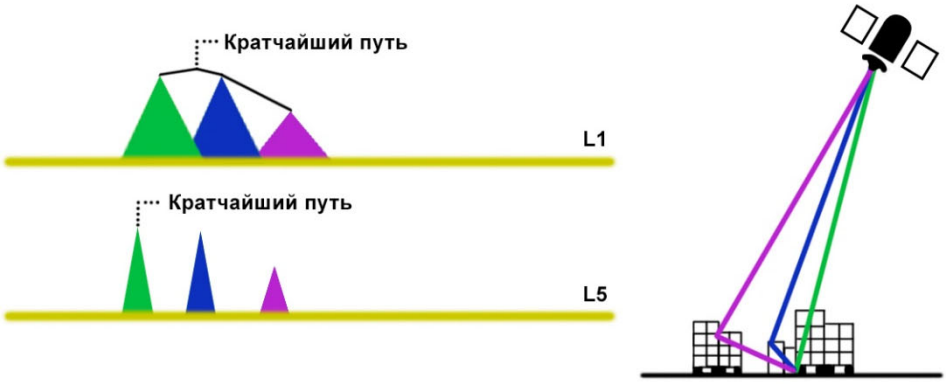

Рисунок 5 – Влияние многолучевого распространения на уровнях L1 и L5

Атмосферные задержки. Ионосфера и тропосфера могут замедлять и изменять путь сигналов ГНСС, что приводит к ошибкам в измерениях. Ионосферные задержки зависят от солнечной активности и времени суток, а тропосферные задержки связаны с влажностью, температурой и давлением.

Основным преимуществом использования двухчастотного режима является возможность уменьшения ионосферной задержки. Более того, модуляция L5 или E5a для Galileo гораздо более устойчива к многолучевому распространению, чем сигналы L1. Диаграммы слева на рисунке 5 представляют пики корреляции. Вверху

показано влияние двух многолучевых лучей в сигналах L1. Такие же лучи изображены внизу для сигнала L5. Из-за большей скорости чипирования сигналов L5, в десять раз большей, чем L1 (10,23 МГц по сравнению с 1,023 МГц), пик корреляционных функций становится намного уже и облегчает различие между линией прямой видимости и многолучевыми компонентами. Однако в случае сигналов L1 компоненты многолучевого распространения перекрываются с компонентами прямой видимости. Следовательно, форма корреляционной функции искажается, внося ошибку в оценку задержки, что влияет на точность определения местоположения [59].

В диссертационной работе также обращено внимание на важность правильного выбора и настройки оборудования, включая ГНСС-приемники и антенны. Качество и тип приемника, а также его настройки, например, частота обновления, могут оказывать значительное влияние на точность измерений. Солнечные и магнитные бури также могут оказывать влияние на точность сигналов. Немаловажен и человеческий фактор, так как от точности установки оборудования и любых ошибок может снизиться точность измерений.

Метод обработки измерений ГНСС, такой как выбор правильной методологии для обработки базовых линий ГНСС и управление детальным анализом их правильного определения, оказывает значительное влияние на получение надежного и точного местоположения. Только в случае правильно запланированных базовых линий ГНСС и правильно выбранного расстояния до базовой станции можно провести надежный анализ точности в режиме статической постобработки.

В контексте статического ГНСС-позиционирования мы сталкиваемся с различными факторами, влияющими на точность измерений. Эти факторы включают не только характеристики используемого оборудования, например, ГНСС-приемника и антенны, но и подходы к планированию и выполнению полевых работ. Особое значение имеет выбор методики обработки данных, в том числе определение базовых линий ГНСС и анализ полученных результатов, что существенно влияет на достоверность и точность локализации. Эффективная оценка точности воз-

можна лишь при условии тщательного планирования расположения базовых станций ГНСС и определения оптимального расстояния до них при выполнении постобработки данных.

Основными факторами, влияющими на точность СГНСС, являются ограничения поля видимости, обусловленные снижением количества наблюдаемых спутников и ухудшением качества сигналов вследствие влияния среды распространения, а также многолучевость. Эти факторы можно объединить в обобщённое понятие «условия радиовидимости», определяющее качество и стабильность навигационных измерений.

Для оценки влияния различных факторов на точность данных, получаемых при использовании СГНСС, было проведено исследование, направленное на анализ условий радиовидимости.

Эксперимент проводился на научно-учебной базе (НУБ) Чкаловского государственного университета по землеустройству, расположенной в городском округе Лосино-Петровский, село Аниксино (см. рисунок 4) [23]. На данной территории присутствуют как залесённые участки, так и открытая местность. Таким образом, создавались различные условия радиовидимости для эксперимента. Измерения проводились на точках с известными координатами, которые отличались условиями радиовидимости: открытая небесная сфера, участки с лесным покровом – зоны с ограниченной видимостью. На данном участке выполнены измерения координат известных точек с использованием ГНСС-оборудования Prince-i90 в режиме RTK, подключенного к сетям СДГС, а также с применением СГНСС-оборудования Samsung S20. Для проведения измерений МУ было установлено на штатив и приведено в рабочее положение, как на рисунке 6.

Рисунок 6 – Приведение прибора СГНСС в рабочее положение

Для начала прибор был выставлен над пунктом с известными координатами К-0 (0842), О-2, которые находятся на местности с открытой небесной сферой.

В приложении «Geo++ RINEX Logger» [100] был выбран статический режим («Static»). Измерения осуществлялись в нескольких временных интервалах: 15, 30 и 60 минут. В качестве базовой станции использовался высокоточный геодезический ГНСС-приемник, тогда как МУ располагались на других точках с известными координатами на различном удалении от базовой станции.

Далее были проведены измерения на точках О-1 и В-240, расположенных в зонах с залесённой местностью, что создавало дополнительные сложности для радиовидимости спутников.

Съёмка в этих условиях требовала более тщательного подхода к настройке оборудования и обработке данных, так как плотный лесной покров существенно ограничивает видимость спутников и ухудшает качество получаемого сигнала. Для таких участков характерны повышенные требования к времени наблюдений, точности фазового центра антенны и последующей постобработке данных для минимизации погрешностей.

Третья съёмка проводилась на точках B-20 и Pashnya, расположенных на открытой местности. Эти точки были выбраны для проведения измерений в условиях, обеспечивающих хорошую радиовидимость спутников.

Измерения выполнялись синхронно несколькими сессиями: 15 минут, 30 минут и 60 минут. Базовой станцией являлся ГНСС приёмник Prince-i90 – геодезический оборудование с известной точностью измерений, а измерительные технические средства на базе мобильных устройств были расположены на других точках с известными координатами на разных удалениях от базовой станции. По полученным данным составлена таблица 15.

Таблица 15 – Сравнение координат и СКП, полученных в условиях различной радиовидимости

Точки	X, м	Y, м	Xсгнсс, м	Yсгнсс, м	ΔXсгнсс, м	ΔYсгнсс,м	СКП, м
B-20	6197557,710	442954,167	6197558,983	442955,439	1,273	1,270	1,8
B-240	6197601,155	443169,752	6197602,852	443171,449	1,692	1,699	2,4
Пашня	6197303,682	443417,467	6197304,955	443418,739	1,275	1,270	1,8
K0	6197467,450	442815,460	6197468,935	442816,945	1,485	1,485	2,1
O1	6197332,800	442788,760	6197334,497	442790,457	1,697	1,697	2,4
O2	6197450,060	442814,230	6197451,545	442815,715	1,485	1,485	2,1

Данные, приведенные в таблице 15, показывают, что СКП минимально при высокой радиовидимости, выше при средней и максимально при низкой, подтверждая прямую зависимость точности позиционирования от уровня радиовидимости.

Камеральная обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения CHC Geomatics Office, которое предназначено для обработки ГНСС-измерений и позволяет анализировать данные, полученные в ходе полевых работ. Для каждой сессии измерений, продолжительностью 15, 30 и 60 минут, был выполнен расчёт среднеквадратичной погрешности (СКП) в метрах. Результаты этих расчётов представлены на рисунке 7, что наглядно демонстрирует изменение точности измерений в зависимости от продолжительности сессий.

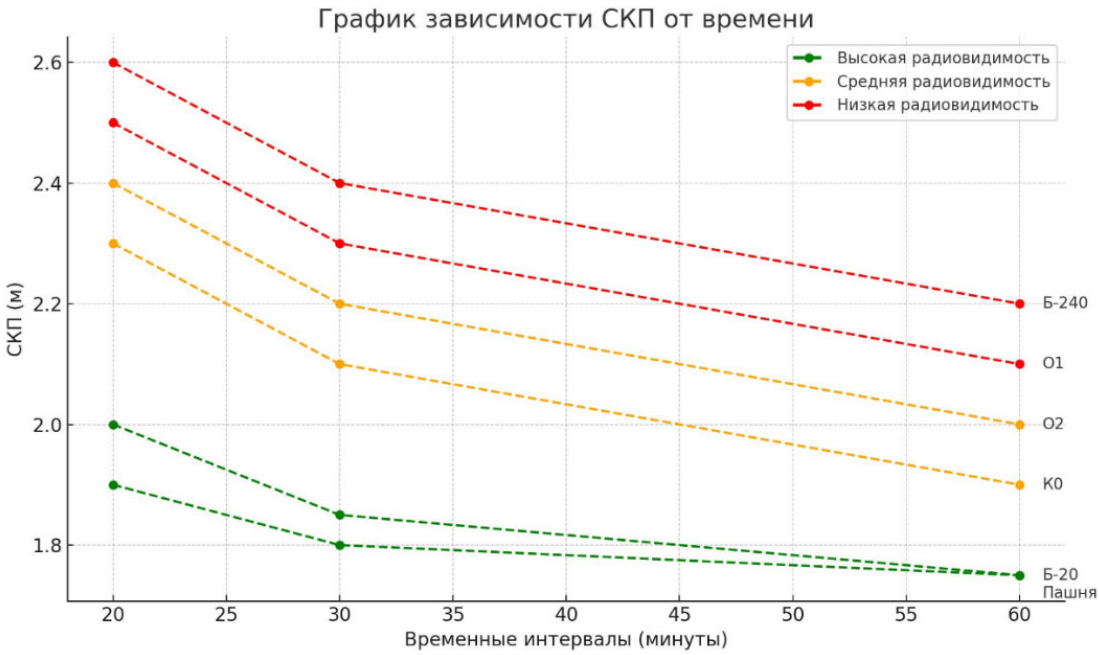

Рисунок 7 – Погрешность определения положения точек в зависимости от радиовидимости и интервала времени

Из анализа представленного графика можно заметить, что на точке «Б-240» при временном интервале наблюдений 20 минут СКП составляет 2,6 м, что свидетельствует о значительных проблемах с точностью измерений при низкой радиовидимости. Полученные результаты подчёркивают необходимость увеличения времени наблюдений для повышения точности данных в условиях ограниченной видимости. Так, на точке О1 средняя погрешность составила около 2,45 м, на точке О2 – 2,3 м, что указывает на недостаточный уровень точности. Для точек К0 и Б-20 величина ошибки составила 2,0 и 1,9 м соответственно. Наиболее низкое значение продемонстрировала точка «Пашня» – около 1,85 м, что свидетельствует о сравнительно лучшей точности по сравнению с остальными.

При увеличении продолжительности наблюдений до 30 минут отмечено улучшение качества данных: на точке Б-240 погрешность снизилась до 2,4 м, на О1 – до 2,3 м, на О2 – до 2,15 м, на К0 – до 1,9 м, на Б-20 – до 1,8 м, а на «Пашне» – до 1,75 м. Это подтверждает тенденцию к повышению точности измерений при увеличении времени регистрации сигналов на всех уровнях радиовидимости.

При времени наблюдений 60 минут погрешности снижаются соответственно: на «Б-240» – до 2,2 м, на «О1» – до 2,1 м, на «О2» – до 2,0 м, на «К0» – до 1,8 м, на «Б-20» – до 1,7 м, и на «Пашне» – до 1,65 м, это подтверждает положительное влияние увеличенного времени наблюдений на точность измерений.

Для достижения наилучшей точности измерений в режиме «Статика» рекомендуется увеличивать временной интервал наблюдений до 60 мин, особенно в областях с низкой видимостью, в нашем случае с такими точками, как «Пашня» и «Б-240». В районах с высокой радиовидимостью, таких как в данном эксперименте точки «К0» и «О1», целесообразно использовать временной интервал 30 минут, что обеспечивает приемлемую точность и минимальные временные затраты, делая такой подход экономически выгодным [17].

2.4 Ориентирование ГНСС-модуля

Ориентирование ГНСС-модуля для МУ включает в себя использование данных с ГНСС, а также дополнительных датчиков, чтобы определить его положение. Это позволяет устройству определить не только точное местоположение, но и направление, в котором он направлен, а также его угловое положение.

В данном подразделе диссертации рассматривается влияние ориентации ГНСС-модуля на точность позиционирования с использованием Huawei P30 Pro, который оснащён двухчастотным ГНСС-приёмником. Исследования показали, что ориентация ГНСС-модуля МУ может оказывать влияние на точность определения координат, особенно при использовании методов высокоточного позиционирования, таких как статические и быстрые статические измерения [25].

Вертикальное положение было выбрано с целью точного определения фазового центра антенны МУ. Это особенно важно при проведении высокоточных ГНСС-измерений, поскольку смещение фазового центра антенны может привести к возникновению ошибок в определении координат. Правильное размещение оборудования на штативе в вертикальном положении минимизирует ошибки (рисунок 8).

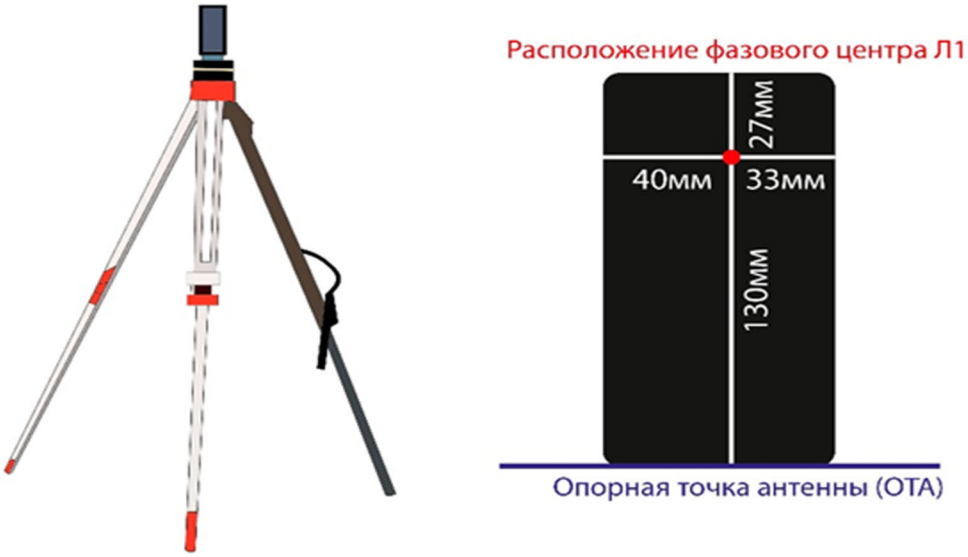

Рисунок 8 – Расположение фазового центра Huawei P30 Pro L1

Согласно результатам постобработки, проведённой в рамках эксперимента, удалось успешно разрешить все неоднозначности на частоте L1, используя только спутниковую констелляцию GPS. Это свидетельствует о высоком качестве сигнала и хорошей работе алгоритмов постобработки, даже при ограниченном использовании спутниковых систем. Все 1-часовые статические сессии продемонстрировали точность измерений в пределах, что соответствует требованиям для геодезических и навигационных задач.

Для быстрого статического режима измерений наилучшие результаты были достигнуты при сессиях длительностью 20 и 30 минут. Это подтверждает, что даже при сокращении времени наблюдений можно достичь высокой точности, что важно для практического применения методов ГНСС-позиционирования в условиях, когда необходимы быстрые и точные измерения.

Чтобы получить сантиметровый уровень точности, необходима точная информация о среднем положении фазового центра внутренней антенны и возможных изменениях фазового центра, поскольку в спецификации поддерживаемого МУ нет никакой информации о расположении антенны ГНСС. Оказалось, что фазовый центр антенны расположен в верхней части устройства на линии верхней камеры. Эта информация была подтверждена позднее в исследованиях фазового центра, который был определен нами очень точно (с точностью до миллиметра). С этой целью

мы провели три отдельных эксперимента (сеансы по два часа), в которых мобильный телефон помещался на основание, выполненное из алюминиевой балки с центрально расположенной оправкой, позволяющей закрепить его на выравнивающей головке, расположенной по центру контрольной точки. МУ Huawei P30 Pro фиксировался в трех различных положениях на алюминиевой основе: сначала монтируют вертикально, затем лежа вдоль балки (параллельно) и для последнего варианта – перпендикулярно ей. База была оборудована профессиональным чувствительным компасом, позволяющим ориентировать базу по линии север-юг.

На основании проведённого анализа можно заключить, что ориентация ГНСС-модуля оказывает существенное влияние на точность позиционирования. Экспериментальные результаты продемонстрировали, что пространственное положение мобильного устройства напрямую отражается на точности получаемых координат. Это подчёркивает необходимость учитывать ориентацию приёмника при выполнении высокоточных геодезических измерений [30, 31].

Дополнительно исследование подтвердило значимость применения двухчастотных ГНСС-приёмников в современных мобильных устройствах, что обеспечивает более высокую надёжность и точность результатов. Двухчастотные приёмники позволяют значительно повысить точность измерений за счёт упрощения процесса устранения фазовых неоднозначностей и коррекции большинства ошибок, вызванных в первую очередь ионосферной рефракцией. Данный процесс напрямую зависит от выбранной методологии обработки данных и текущих атмосферных условий, что делает коррекцию ионосферных ошибок ключевым фактором для повышения точности.

2.5 Зависимость результатов ГНСС измерений мобильным телефоном от продолжительности сеанса наблюдений

В 2.4 рассматривался вопрос зависимости расположения мобильного телефона, но не менее важно отметить, что в контексте исследования особый интерес представляет анализ зависимости результатов.

Цель данного подраздела заключается в том, чтобы исследовать, как меняется точность ГНСС-измерений, проводимых с помощью мобильного телефона, в зависимости от продолжительности сеанса наблюдений. Рассмотрим различные временные интервалы – от коротких сеансов, длительностью в несколько минут, до более продолжительных, составляющих несколько часов, – и оценим, как это влияет на способность точно определить местоположение [38]. Анализ будет проводиться на основе экспериментальных данных, полученных в различных условиях.

Точки выбраны с учетом обеспечения точности и надёжности измерений, так как их координаты определены с нормативной точностью. Использование пунктов позволяет оценить влияние расстояния между определяемым пунктом и базовой станцией на точность измерений.

Для анализа точности расчета базовых линий в зависимости от расстояния между определяемым пунктом и базовой станцией были использованы сети СДГС. Эти сети предоставляют высокоточные корректирующие данные в режиме реального времени.

После завершения измерений, данные, собранные с помощью ГНСС-оборудования, автоматически сохраняются в формате RINEX, файлы, автоматически сохранённые в МУ с помощью приложения Geo++ RINEX Logger [100], были импортированы в ПО для дальнейшего анализа. В процессе импорта учитывались параметры измерений, такие как продолжительность сеансов, видимость спутников и качество сигналов. Это происходит в соответствии с настройками приложения Geo++ RINEX Logger [100], которое используется для записи необработанных данных спутниковых наблюдений.

Камеральная обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения CHC Geomatics Office, предназначенного для обработки ГНСС-данных и расчета базовых линий. Это ПО обеспечивает высокую точность и детализацию при обработке данных, собранных в формате RINEX, и позволяет проводить детальный анализ измерений, полученных в полевых условиях. Результаты представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты расчёта базовых линий в ПО CHC Geomatics Office

Название	Значение параметров вектора			
15 минут				
	СКП расстояния, м	Относительная погрешность	Максимальный DOP	Количество спутников
К4-О1	0,13	1/1486	2,7	7
К4-К0	0,02	1/2019	2,7	4
Медвежьи озера-О1	0,07	1/106572	2,4	7
30 минут				
К4-К0	0,007	1/6479	2,7	4
К4-О1	0,05	1/3546	2,9	6
Медвежьи озера-К0	0,04	1/205686	2,4	4
Медвежьи озера-О1	0,03	1/221392	2,9	6
60 минут				
К4-К0	0,002	1/30888	5,9	4
Медвежьи озера-К0	0,003	1/2712403	5,9	4
К4-О1	0,03	1/6818	4,8	6
Медвежьи озера-О1	0,02	1/398630	4,9	5

Анализ результатов, представленных в таблице 16, показывает зависимость точности расчёта базовых линий от продолжительности сеанса наблюдений, количества спутников и значений DOP (Dilution of Precision).

С увеличением времени наблюдений с 15 до 60 минут точность значительно улучшается, о чём свидетельствует снижение среднеквадратичной погрешности на всех базовых линиях. Например, для линии К4-К0 СКП уменьшается с 0,02 м за 15 минут до 0,002 м за 60 минут. Аналогичное улучшение наблюдается на длинных линиях, таких как Медвежьи озера-К0 и Медвежьи озера-О1, где СКП достигает минимальных значений 0,003 м и 0,02 м соответственно. Увеличение времени

наблюдений также снижает относительную погрешность: для линии Медвежьи озера-О1 она уменьшается с 1/106572 за 15 минут до 1/398630 за 60 минут, а для линии К4-К0 – с 1/2069 до 1/30888, что почти в 15 раз точнее

Количество спутников и DOP. Следует отметить, что значения DOP также играют роль в точности измерений. В ряде случаев увеличение времени наблюдений сопровождается ростом значений DOP, это может указывать на ухудшение условий наблюдения (например, для линии К4-К0 DOP увеличивается до 5,9 за 60 минут). Тем не менее, несмотря на рост DOP, точность определения продолжает улучшаться за счёт увеличения времени наблюдений.

Количество спутников варьируется от 4 до 7 в зависимости от базовой линии и времени наблюдений. Увеличение количества спутников и продолжительности сеансов наблюдений даёт более точные результаты.

Были рассчитаны базовые линии между определяемыми точками и опорной станцией с использованием данных сети СДГС. CHC Geomatics Office автоматически корректирует ионосферные и тропосферные воздействия, а также учитывает многолучевые сигналы, что повышает точность результатов. Результаты исследования можно отразить в виде графика (рисунок 9).

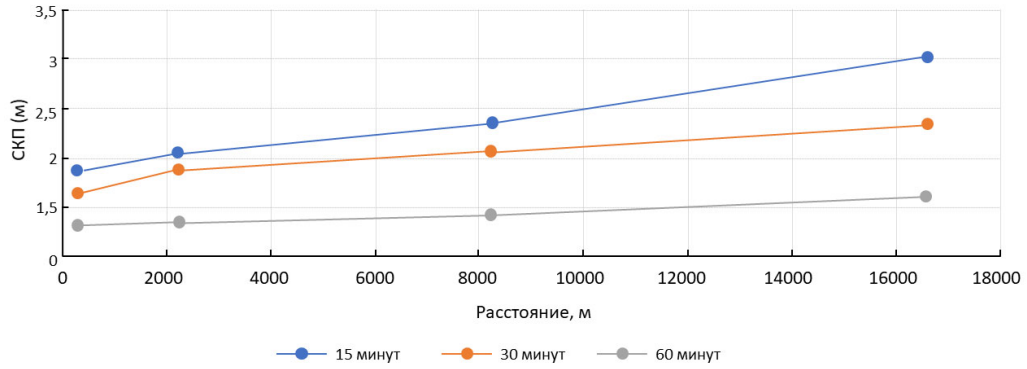

Рисунок 9 – График погрешности определения координат точек в зависимости от интервала времени и удаления от базовой станции

График наглядно демонстрирует, как продолжительность сеансов наблюдений (15, 30 и 60 минут) и расстояние между определяемыми точками и базовой станцией влияют на точность измерений в режиме статики.

График наглядно отражает влияние продолжительности сеанса наблюдений (15, 30 и 60 минут) и расстояния от базовой станции на точность измерений в режиме статики. При кратковременных наблюдениях продолжительностью 15 минут (синяя линия) СКП увеличивается от около 1,7 до 3,0 м по мере удаления от базовой станции до 17 км. Такие значения погрешности допустимы лишь при решении задач с низкими требованиями к точности, например, в лесном фонде.

При увеличении времени наблюдений до 30 минут (оранжевая линия) точность существенно возрастает: СКП колеблется в пределах от 1,6 до 2,5 м на рассматриваемом интервале расстояний. Этот режим обеспечивает приемлемую точность для сельскохозяйственных задач, где допускается погрешность до 2,5 м.

Максимальную точность обеспечивают 60-минутные наблюдения (серая линия): СКП составляет около 1,4–1,6 м даже при расстоянии до 17 км от базовой станции. Такие результаты соответствуют требованиям к высокоточному позиционированию, включая кадастровые работы, где критически важно минимизировать пространственную погрешность.

Таким образом, увеличение времени наблюдений существенно снижает влияние расстояния на точность, а 60-минутный интервал обеспечивает наилучшее качество измерений независимо от удалённости.

2.6 Выводы по разделу 2

Второй раздел содержит несколько исследований. Первое затрагивает актуальные вопросы оценки возможностей современных МУ для фиксации ГНСС-наблюдений и их использования в геодезических задачах, таких как инвентаризация земельных участков. В ходе работы проанализированы существующие программные решения, которые позволяют мобильным устройствам с двухчастотными ГНСС-чипсетами фиксировать и сохранять сырые данные наблюдений в формате RINEX. Данный формат является стандартом для обработки спутниковых данных в профессиональных геодезических и ГИС-системах.

Основное внимание в исследовании уделялось приложениям для Android, таким как GNSSLogger, Geo++ RINEX Logger [100], RinexOn и другим, которые обеспечивают возможность записи и последующей обработки данных с различных спутниковых систем (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou). Оценивалась совместимость приложений с разными моделями МУ, их функциональные возможности, включая работу с сырыми ГНСС-наблюдениями, поддержка мультисистемного позиционирования, а также интеграция с другими сенсорами мобильных устройств.

Результаты исследования показали, что наиболее эффективными для задач, требующих высокой точности позиционирования, являются приложения, которые поддерживают запись «сырых» данных в формате RINEX, такие как Geo++ RINEX Logger и GNSSLogger. Они обеспечивают возможность дальнейшей постобработки данных с высокой точностью, что делает их незаменимыми для геодезических измерений, землеустройства и мониторинга земельных ресурсов.

Таким образом, исследование подтвердило возможность использования мобильных устройств в задачах геопозиционирования, что открывает новые горизонты для их применения в профессиональных геодезических изысканиях и инвентаризации земель.

В ходе следующего исследования была проведена сравнительная оценка возможностей четырех программных продуктов для постобработки данных ГНСС: EFT Post Processing (версия 2.0.0.7), Кредо ГНСС (версия 2.0), CHC Geomatics Office (версия 1.0.7) и Topcon Tools (версия 8.2.3). Исследование было направлено на выявление точности обработки координат, а также на анализ возможностей настройки программ и их функциональности. Для эксперимента нами были выбраны четыре контрольные точки с известными координатами.

Анализ показал, что каждый программный комплекс обеспечивает различный уровень точности при определении координат точек. Наиболее высокие результаты были зафиксированы у CHC Geomatics Office – среднеквадратическое отклонение составило около 2 мм. Программы EFT Post Processing и Topcon Tools тоже продемонстрировали удовлетворительные показатели точности, тогда как использование Кредо ГНСС в отдельных случаях сопровождалось отклонениями до 10,5 мм

в плане. Следовательно, необходима более тонкая настройка данного ПО для достижения оптимальных результатов.

Исследование подтвердило зависимость выбора программного обеспечения от задач пользователя. CHC Geomatics Office выгодно отличается высокой точностью, однако требует более тщательной конфигурации. EFT Post Processing и Topcon Tools характеризуются удобством эксплуатации и широким набором функций при сохранении высокого уровня точности. В то же время Кредо ГНСС, несмотря на отмеченные отклонения, остаётся востребованным инструментом, особенно при условии корректной настройки параметров обработки. В ходе ещё одного проведённого исследования проанализированы ключевые факторы, влияющие на точность получения данных с использованием ГНСС-наблюдений, а также предложены пути для минимизации ошибок.

В рамках исследования проведены полевые измерения на различных участках с разными условиями радиовидимости – от открытой местности до лесных участков с ограниченным приемом спутниковых сигналов. Использовались как профессиональные ГНСС-приемники, так и мобильные устройства с двухчастотными ГНСС-чипсетами, что позволило оценить их возможности и ограничения в использовании.

По итогам исследования, в условиях открытой местности точность измерений достигала требуемых показателей, а погрешности оставались в пределах допустимых значений (менее 1 м).

На лесных участках и в условиях плохой радиовидимости требовалось увеличение времени наблюдений до 60 минут для достижения точности менее 2 м.

Современные двухчастотные ГНСС-приемники в МУ при правильной настройке и использовании специализированных программ для постобработки показали результаты, близкие к результатам, полученным на профессиональных приборах.

Таким образом, исследование продемонстрировало, что, несмотря на внешние ограничения и условия, точность измерений может быть существенно повышена за

счёт использования правильных методик, увеличения времени наблюдений и последующей постобработки данных.

Во втором разделе проведена оценка влияния ориентации ГНСС-модуля на точность позиционирования с использованием Huawei P30 Pro, оснащённого двухчастотным ГНСС-приёмником. Результаты исследований показали, что корректная ориентация МУ, а также точность позиционирования фазового центра антенны оказывают значительное влияние на качество получаемых данных. Это особенно проявляется при выполнении геодезических измерений, включая статические и быстрые статические наблюдения.

Ключевым элементом анализа стало тестирование положения ГНСС-модуля МУ. Для обеспечения наиболее точного определения фазового центра антенны была выбрана вертикальная установка устройства. По итогам эксперимента стало понятно, что корректное позиционирование антенны минимизирует смещения фазового центра, что особенно критично в условиях, где точность координат является приоритетной. Сравнительный анализ вертикальной и горизонтальной установки устройства подтвердил прямое влияние ориентации приёмника на результаты позиционирования.

В ходе статических измерений продолжительностью 60 минут точность определения плановых координат составляла 1–4 см. Аналогичный результат был достигнут в быстром статическом режиме сессии продолжительностью 20 и 30 минут, и это подтверждает возможность получения высокоточных данных даже при сокращённом времени наблюдений.

В последнем исследовании второго раздела была рассмотрена зависимость точности ГНСС-измерений с использованием мобильного телефона от продолжительности сеансов наблюдений. Анализ показал, что увеличение времени наблюдений существенно улучшает точность измерений, что является важным аспектом для выполнения задач, которые требуют высокой точности позиционирования, например, как кадастровые работы и геодезические исследования.

Увеличение продолжительности сеансов наблюдений напрямую способствует росту точности получаемых данных. Этот эффект выражается в снижении среднеквадратической погрешности и повышении относительной точности, что особенно заметно на протяжённых базовых линиях. Так, для линии «Медвежьи озера – К0» величина погрешности уменьшилась с 0,07 м при 15-минутном наблюдении до 0,003 м при 60-минутной сессии, что демонстрирует значительное улучшение качества результатов при увеличении времени измерений.

Кратковременные сеансы наблюдений (около 15 минут) обеспечивают приемлемый уровень точности для задач, не требующих высокой детальности, например при определении границ лесных массивов. В таких случаях погрешности составляют 0,06–0,12 м, что соответствует установленным нормативным требованиям для данного типа работ.

Наблюдения средней продолжительности (30 минут) показывают более высокую точность по сравнению с 15-минутными сессиями. Величина погрешности при этом находится в пределах 0,04–0,06 м, что делает данный режим оптимальным для задач, связанных с определением границ земельных участков сельскохозяйственного назначения. Такой временной интервал можно рассматривать как рациональный компромисс между требуемой точностью и затратами времени.

Длительные сеансы наблюдений (60 минут) обеспечивают максимальный уровень точности: погрешность находится в пределах 0,02–0,04 м. Такие показатели соответствуют требованиям наиболее строгих задач, включая геодезические и кадастровые работы, где критически важна высокая точность координат.

Эти результаты показывают, что для участков с высокой стоимостью или интенсивным использованием предпочтительны более длительные наблюдения, чтобы минимизировать погрешности.

Количество спутников и значение DOP также играют важную роль в точности измерений. Например, увеличение DOP с ростом продолжительности наблюдений указывает на ухудшение условий радиовидимости, однако это не снижает общей точности за счет удлинения времени наблюдений.

При 15-минутных наблюдениях погрешности остаются высокими, но даже при увеличении DOP в более продолжительных сеансах точность сохраняется на уровне, приемлемом для высокоточных задач.

Успешное выполнение землеустроительных задач, инвентаризации и кадастрового учета земель сельскохозяйственного назначения и лесного фонда требует комплексного подхода к учёту всех факторов, влияющих на точность позиционирования, начиная от выбора оборудования и заканчивая корректной методикой получения и обработки данных [19].

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ГНСС-МОДУЛЕМ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СЕЛЬСКОГО И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРОВ.

3.1 Оценка погрешностей в измерениях с использованием мобильного устройства с двухчастотным ГНСС-модулем

Ключевой задачей геодезического обеспечения землеустройства является точное определение площадей угодий. Введение новых технологий, таких как двухчастотные ГНСС-модули, встроенные в современные МУ, позволяет обеспечить точность и ускорить выполнение таких измерений. Эти устройства обеспечивают высокую мобильность, простоту использования и оперативный доступ к данным.

Использование двухчастотных ГНСС-модулей не исключает возникновения погрешностей, которые могут существенно повлиять на результаты измерений. Существуют различные факторы, вызывающие ошибки в определении площади: атмосферные воздействия (например, ионосферные и тропосферные задержки), многолучевое распространение сигнала, а также погрешности эфемерид и часов спутников. Эти и другие источники ошибок могут приводить к отклонениям от реальных значений площади, что особенно важно учитывать при работе на больших территориях или в условиях сложной местности.

Для обеспечения необходимой точности определения площадей угодий важным этапом является анализ погрешностей и минимизация их влияний. Например, двухчастотные приёмники позволяют компенсировать ионосферные задержки за счёт работы на двух частотах, что существенно снижает влияние этого источника ошибок. Дифференциальные методы позиционирования, такие как СДГС и RTK, позволяют получать поправки с базовых станций, что увеличивает точность определения координат точек и, соответственно, площади.

Таким образом, использование современных МУ с двухчастотными ГНСС-модулями открывает широкие возможности для определения площадей угодий. Однако для достижения высоких результатов необходимо учитывать все возможные источ-

ники ошибок, применять подходящие методы их минимизации и проводить тщательный анализ полученных данных. Всё это позволяет не только повысить точность измерений, но и добиться надёжных результатов в условиях реальных полевых работ.

С целью выявления зависимости точности определения площади от точности определения координат с помощью СГНСС проведено исследование на НУБ «Чкаловская», где выполнены измерения координат и последующее определение площади, проведена оценка точности полученной площади.

СКП определения площади полученных с использованием СГНСС показывает погрешность результатов измерений. СКП отражает отклонение результата от истинной площади объекта, полученной с помощью измерений его границ. Для расчета СКП площади, полученной с использованием СГНСС, используется следующая формула [63]:

$$M_P = \frac{m_{сгнсс}}{2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}[(y_{i+1} - y_{i-1})^2 + (x_{i+1} - x_{i-1})^2]}\,, \qquad (1)$$

где $M_P -$ СКП определения площади;

$m_{сгнсс} -$ СКП положения точек СГНСС;

N – число характерных точек определённых границ объекта недвижимости;

X, Y – координаты поворотных точек.

Формула позволяет оценить точность вычислений площади, основываясь на погрешности в измерении координат точек. Чем точнее координаты точек, тем меньше будет СКП, и, следовательно, более точным будет результат расчета площади [1].

Радиовидимость представляет собой характеристику среды распространения радиосигнала, определяющую степень его ослабления, отражения и преломления в зависимости от особенностей окружающей инфраструктуры и природных объектов. Данный параметр играет ключевую роль в функционировании радионавигационных систем, так как непосредственно влияет на точность позиционирования. Для исследования точности определения координат можно внести понятия низкой, средней и высокой радиовидимости.

Низкая радиовидимость характеризуется наличием значительных препятствий на пути распространения радиосигнала, что приводит к его экранированию, много-

лучевому распространению (мультипутевому эффекту) и, как следствие, к существенным искажениям сигнала. Типичными примерами таких условий являются плотная городская застройка, залесённость.

Средняя радиовидимость наблюдается в условиях умеренного наличия препятствий, таких как сельская местность с редкой застройкой, небольшие холмы, группы деревьев и отдельно стоящие сооружения.

Высокая радиовидимость характеризуется практически полным отсутствием препятствий на пути распространения радиосигнала. Такие условия типичны для открытых пространств, включая степи, пустыни, водные акватории и горные вершины. В данных условиях минимальны затухание сигнала, многолучевые искажения и эффекты экранирования, что позволяет достичь высокой точности позиционирования (рисунок 10).

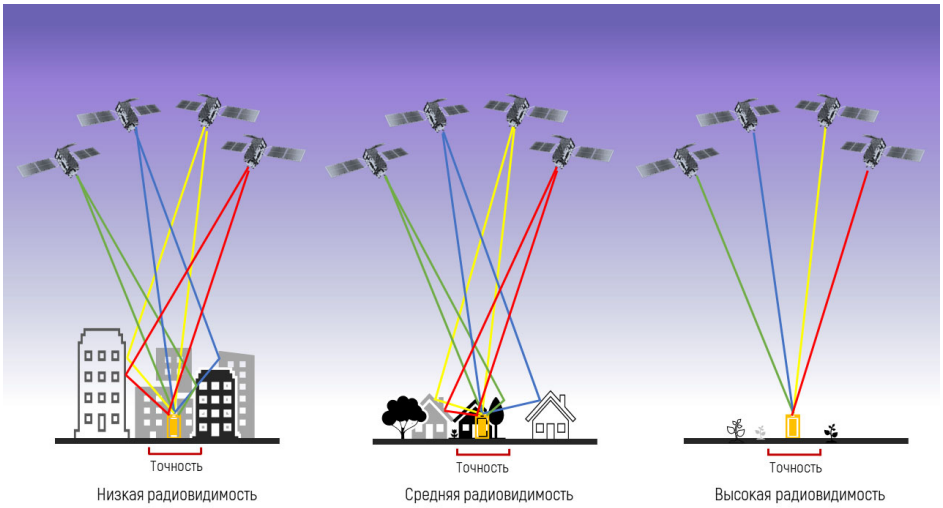

Рисунок 10 – Примеры радиовидимости

3.2 Методика применения мобильных устройств с ГНСС-модулем в различных отраслях народного хозяйства

Для наилучшего применения мобильных устройств с ГНСС-модулем разработана блок-схема [52], представляющая методический подход к их использованию в различных сферах народного хозяйства. Блок-схема охватывает весь процесс – от

идентификации потребностей до конечного этапа применения и анализа собранных данных. Она служит как навигационная карта, направляющая пользователя от начальных этапов выбора устройства до высокоуровневого анализа и принятия решений на основе полученной информации.

Рассмотрим представленную блок-схемы (рисунок 11).

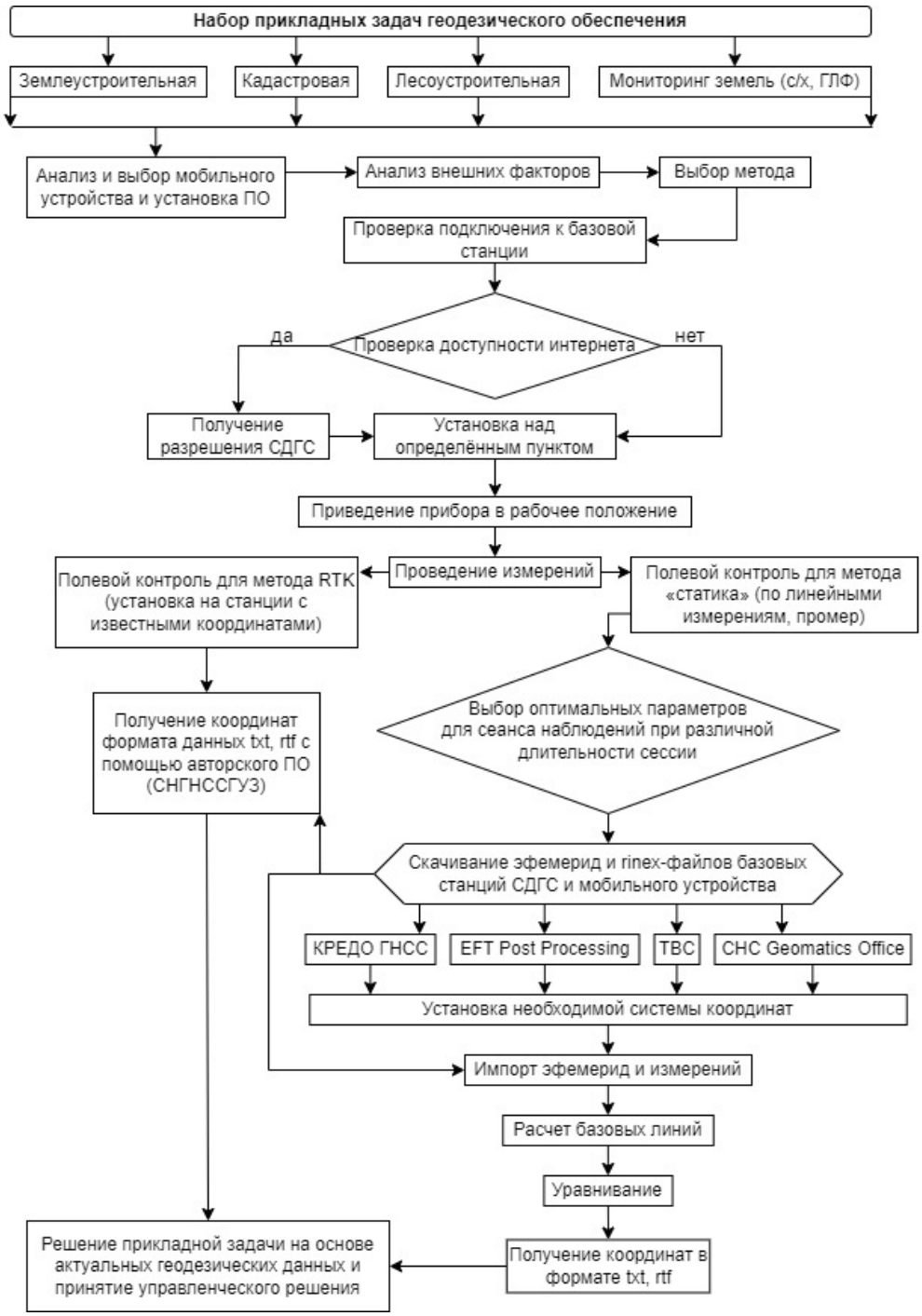

Рисунок 11 – Блок-схема геодезического обеспечения землеустроительных и кадастровых работ с применением мобильных устройств

Процесс начинается с набора прикладных задач геодезического обеспечения и выбора области применения.

Следующий этап – установка необходимого программного обеспечения и анализ внешних факторов. Изучение точности данных, получаемых с помощью ГНСС-наблюдений, показало, что на их качество влияет множество факторов, о которых говорилось в разделе 2 диссертационного исследования.

Следующий блок «Анализ внешних факторов» включает оценку местности и информации о солнечной и магнитной активности. Рекомендуется выбрать оптимальные условия для наблюдений и учитывать расстояние до базовых станций ГНСС. Эти факторы включают как природные условия, так и технические характеристики используемого оборудования.

Для минимизации ошибок и повышения точности ГНСС-наблюдений применяются различные методы, выбор которых происходит после этапа «Анализ внешних факторов». В данном исследовании использовались два метода: реального времени Real-Time Kinematic (RTK) и «Статика».

Выбрав методы, необходимо перейти к блоку «Проверка подключения к базовой станции». Рассмотрим путь подключения базовой станции с доступом к интернету. Следует надежно установить штатив, зайти в программное обеспечение на мобильном устройстве и провести измерения.

Если интернет доступен, то получаем разрешения СДГС.

Рассмотрим путь без доступа к интернету. В данном случае сразу переходим к этапам «Установка штатива над определяемым пунктом», «Приведение прибора в рабочее положение», «Горизонтирование и центрирование устройства»: установите мобильное устройство на штатив, убедившись, что оно надежно закреплено. Далее переходим к этапу «Проведение измерений».

В геодезических работах важным этапом является полевой контроль, который гарантирует требуемую точность и соответствие измерений установленным стандартам. Конкретные методы полевого контроля зависят от применяемой технологии. При использовании метода RTK контроль выполняется путем установки оборудования на базовых станциях с известными координатами, что позволяет вносить

поправки и снижать погрешности. Если применяется метод «Статика», контроль осуществляется через измерения на опорных точках, также имеющих известные координаты, что обеспечивает высокую точность и стабильность результатов при длительных наблюдениях. Оба метода требуют тщательного соблюдения методики и условий проведения работ для того, чтобы гарантировать достоверность и точность геодезических данных.

Для метода RTK после полевого контроля можно получить координаты в формате txt и rtf с помощью СГНССГУЗ в соответствии с приложением А [56]. Данный шаг является финальным и решает прикладную задачу на основе актуальных геодезических данных.

Однако для метода «Статика» после полевого контроля следующем этапом является выбор оптимальных параметров для сеанса наблюдений при различной длительности сессии. В данном исследовании оптимальное время измерений составило 30 минут.

После завершения измерений необходимо скачать эфемериды и RINEX-файлы базовых станций СДГС и мобильного устройства. Эфемериды предоставляют данные о положении спутников на орбите в определенный момент времени, включая информацию о местоположении спутника, его скорости, ускорении и других параметрах. После данного блока можно сразу перейти к получению координат или к блоку «импорт эфемерид и измерений». RINEX-файлы содержат информацию о наблюдениях GPS/ГНСС (например, псевдодальности и фазовые измерения), а также данные о спутниках (эфемериды).

Но существует и классический способ для обработки данных – с использованием специализированных программ, такие как Кредо ГНСС, EFT Post Processing, Trimble Business Center (TBC).

В программном обеспечении необходимо установить необходимую систему координат.

Импорт эфемерид и ранее собранных данных в выбранное программное обеспечение. На основе обработанных данных проводится расчет базовых линий между

двумя точками (статичным и динамичным приемниками). Это позволяет определить расстояние и направление от базовой точки до объекта.

Финальным шагом так же, как и для метода RTK, является получение координат в формате txt и rtf, что приводит к решению прикладной задачи.

3.3 Особенности разработки и внедрения программного обеспечения «СГНССГУЗ» для обработки ГНСС-данных в реальном времени

С развитием технологий и увеличением доступности данных ГНСС всё больше пользователей сталкиваются с необходимостью обработки данных, полученных с навигационных спутников. Для упрощения решения таких задач было разработано ПО ЭВМ (приложение А), реализованное в виде телеграмм-бота, который предоставляет удобный интерфейс для загрузки и обработки файлов формата RINEX, с целью расчета координат на основе эфемерид спутников. Применение Telegram-бота существенно упрощает взаимодействие с системой, предоставляя пользователям возможность получать результаты в разных системах координат и в удобном формате. Такой подход делает обработку ГНСС-данных доступной даже для тех, кто не обладает специализированными знаниями или оборудованием.

Результатом разработанной методики стало авторское программное обеспечение (см. приложение А) [56], которое позволяет получать координаты в реальном времени с помощью МУ. Это программное обеспечение предназначено для использования в полевых условиях, значительно облегчая процесс сбора и обработки геодезических данных в таких областях, как сельское хозяйство, лесное хозяйство, землеустройство и кадастровые работы. Благодаря его функционалу, можно эффективно получать и обрабатывать данные ГНСС для точного позиционирования, что ускоряет работу и повышает точность результатов инвентаризации и мониторинга земельных ресурсов.

В процессе обработки данных в приложении «СГНССГУЗ» (см. приложение А) [56] используются файлы формата RINEX, которые содержат информацию о псевдодальности, фазовых измерениях и эфемеридах спутниковых сигналов. Эти

данные позволяют получить сведения о положении спутников, их скорости, ускорении и других важных характеристиках, необходимых для точного расчёта координат.

Особенности обработки RINEX-файлов в приложении «СГНССГУЗ» [56] заключаются в последовательном выполнении трёх основных этапов:

– считывание и интерпретация спутниковых данных, поступающих с мобильного устройства;

– применение алгоритмов коррекции ошибок, связанных с задержками сигнала, многолучевостью и воздействием атмосферы;

– вычисление координат пользователя, пригодных для решения геодезических и кадастровых задач.

На рисунке 12 показан пример RINEX-файла, который был получен с помощью МУ и обработан в приложении «СГНССГУЗ» [56]. Данный файл содержит основные данные, необходимые для определения местоположения и дальнейшего анализа.

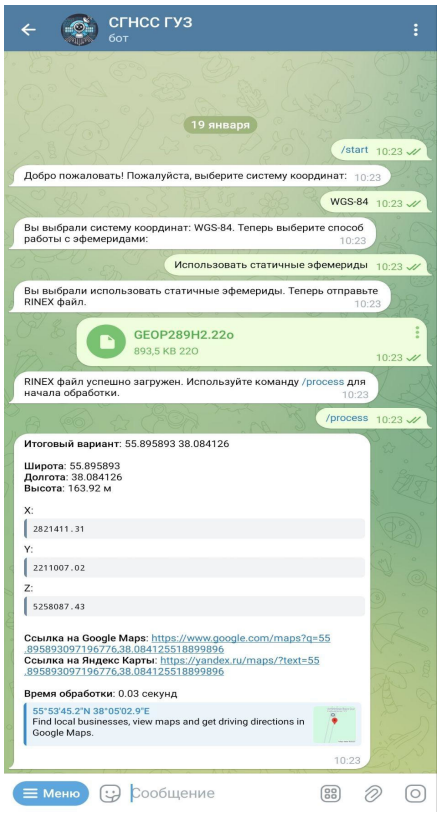

Рисунок 12 – Запрос в телеграмм-бот

Представленная программа реализует телеграм-бота, который предоставляет пользователям возможность загружать файлы формата RINEX и использовать данные эфемерид для расчета координат. Основные функции бота следующие:

– загрузка и обработка RINEX-файлов – пользователи могут загружать файлы напрямую через телеграм-бота для дальнейшей обработки данных спутникового позиционирования;

– использование эфемерид для расчета координат – для вычисления положения в пространстве бот использует библиотеки Skyfield и OrbitPy, которые позволяют получать точные данные о траекториях спутников и их эфемеридах;

– предоставление результатов в разных системах координат – бот позволяет пользователям выбрать систему координат для представления результатов, например, WGS-84, MSK-50 и др., в зависимости от их потребностей;

– генерация отчетов – бот автоматически создает отчет, содержащий координаты точек и вычисленную площадь участка, что полезно для задач землеустройства, кадастра и инвентаризации земель.

Такое программное решение упрощает процесс работы с ГНСС-данными и делает его доступным даже для пользователей без специального оборудования, используя возможности МУ и телеграм-бота для обработки данных.

Разработанное программное обеспечение обладает следующими основными функциональными возможностями.

Загрузка файлов формата RINEX – программа позволяет пользователю загружать файлы наблюдений спутниковых систем в стандартизированном формате RINEX, что необходимо для обработки данных ГНСС.

Загрузка эфемерид – пользователь может либо загрузить эфемериды из сети, либо использовать заранее подготовленные файлы эфемерид для точных расчётов координат.

Выбор системы координат – программное обеспечение предоставляет пользователю возможность выбрать систему координат для отображения результатов (например, WGS-84, MSK-50 и др.).

Расчёт координат точек – на основе данных эфемерид и файлов RINEX выполняется расчёт координат точек. Данный процесс включает использование псевдодальности и фазовых измерений, что позволяет получить высокоточные координаты.

Генерация отчёта – программа автоматически формирует текстовый отчёт, который включает координаты расчётных точек, а в случае работы с несколькими точками – вычисляет площадь участка.

Программа состоит из нескольких ключевых компонентов:

Телеграм-бот обеспечивает взаимодействие с пользователем через интерфейс приложения Telegram, что делает работу с программой удобной и доступной для широкого круга пользователей.

Используемый язык программирования – Python 3. Основные библиотеки, которые применялись для корректной работы Телеграм-бота:

– telebot – библиотека, предназначенная для создания и управления телеграм-ботом, что обеспечивает пользовательский интерфейс;

– georinex – библиотека, разработанная для обработки и работы с данными формата RINEX;

– numpy – библиотека, широко используемая для выполнения сложных научных и инженерных вычислений;

– pyproj – библиотека, предназначенная для работы с координатными проекциями и преобразованиями геодезических данных;

– Skyfield – библиотека, предоставляющая инструменты для астрономических вычислений и работы с эфемеридами;

– OrbitPy – библиотека для анализа орбитальных данных, использующаяся для получения информации о положении спутников;

– shapely – библиотека для работы с геометрическими объектами, включающая вычисления площади и других характеристик геометрических фигур.

Пример использования программы.

Пользователь запускает телеграм-бот и выбирает необходимое действие (например, загрузка RINEX файла, загрузка эфемерид, выбор системы координат).

Пользователь загружает файл формата RINEX (рисунок 13), а при необходимости – файл эфемерид.

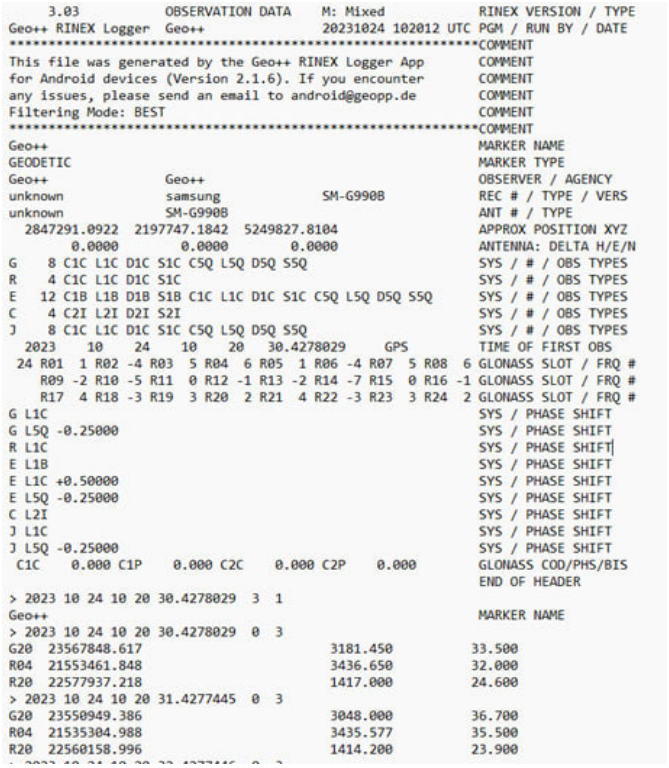

Рисунок 13 – Файл формата RINEX, который загружали в телеграм-бот

Программа выполняет расчёт координат точек на основе загруженных данных и отправляет пользователю результаты.

В случае, если расчёт выполняется для нескольких точек, программа автоматически генерирует отчёт с указанием площади участка и отправляет его пользователю.

Программа представляет собой инструмент для обработки данных с ГНСС и выполнения высокоточных цифровых кодов. Интеграция с телеграм-ботом обеспечивает доступность интерфейса, расширение ее доступности для специалистов в области геодезии, землеустройства и кадастра. Программа сочетает передовые технологии ГНСС с функциональным пользовательским интерфейсом, предоставляя результаты в структурированном и удобном виде.

Точность вычислений определяется параметрами загружаемых RINEX-файлов и эфемерид, что может существенно снижать её в условиях ограниченного

спутникового сигнала или при использовании оборудования низкой точности. Зависимость от интернет-соединения для загрузки эфемерид ограничивает область применения программы в удалённых районах. В некоторых случаях для повышения точности и надёжности получаемых данных необходима дополнительная верификация с использованием специализированных геодезических приборов или методов контроля качества.

Программа отличается высокой доступностью и мобильностью, и это значительно повышает её научную и практическую ценность. Интеграция с платформой Telegram предоставляет упрощённый пользовательский интерфейс для работы с ГНСС-данными в полевых условиях, и дает возможность определения координат без необходимости использования дорогостоящего оборудования. Это делает программу востребованной среди специалистов в области геодезии, землеустройства и кадастрового учёта.

Адаптивность программы под различные пользовательские запросы является её сильной стороной. Программа поддерживает работу с различными системами координат, поэтому она универсальна для применения в разных странах и регионах с их специфическими требованиями к системам геодезических координат. Все это позволяет эффективно адаптировать результаты к нуждам профессионалов, работающих в области землеустройства и кадастра. Кроме того, программа обеспечивает высокую точность позиционирования за счёт использования эфемерид, загружаемых с помощью специализированных библиотек Skyfield и OrbitPy, что особенно важно для проведения точных геодезических работ, требующих минимизации ошибок позиционирования.

Перспективы исследований и разработок включают совершенствование алгоритмов обработки данных и повышение точности измерений с использованием мобильных ГНСС-устройств. Основным фактором является разработка методик геодезического обеспечения землеустроительных работ, адаптированной для мобильных ГНСС-технологий. Такие методики обеспечивают интеграцию данных в случайные системы управления земельными ресурсами, повышая их эффективность.

Необходимым направлением является создание специализированного программного обеспечения, такого как «СГНССГУЗ» (приложение А) [56] для автоматизации сбора процессов, обработки и анализа данных мобильных ГНСС-устройств. Подобное решение упростит работу специалистов в землеустроительной и геодезической сфере, улучшив точность и скорость получения координат. Внедрение таких технологий обеспечивает разумное использование земельных участков и повышение качества управления земельными ресурсами. Развитие этих решений создает новые возможности для повышения эффективности землеустроительных работ и предоставления государственных услуг.

3.4 Применение мобильных устройств с ГНСС-модулем для целей сельского хозяйства

ГНСС позволяет точно определять местоположение техники на поле, что обеспечивает автоматическое управление движением тракторов, комбайнов и других машин. Это снижает перекрытия и пропуски при обработке полей, экономит топливо и время.

С помощью мобильных устройств можно создавать точные карты полей с учётом рельефа, границ, препятствий и зон продуктивности.

Дифференцированное внесение удобрений и средств защиты растений – ГНСС-данные позволяют создавать карты-задания для техники, которая автоматически регулирует количество вносимых материалов в зависимости от потребностей конкретных участков поля. Это оптимизирует расходы и снижает воздействие на окружающую среду.

Появляется возможность собирать информацию о полевых работах, состоянии посевов, урожайности и других параметрах с помощью мобильных приложений. Собранные данные можно анализировать для оценки эффективности работ, выявления проблемных участков и принятия обоснованных решений по управлению хозяйством.

Мобильные устройства с ГНСС могут использоваться для проведения простых геодезических измерений и создания топографических планов.

Мониторинг поголовья скота – существуют специальные приложения и устройства, которые позволяют отслеживать местоположение и состояние животных с помощью ГНСС.

Преимущества использования мобильных устройств с ГНСС в сельском хозяйстве заключаются в доступности и простоте использования: МУ и планшеты широко распространены и относительно недороги.

В рамках апробации предложенной методики для земель сельскохозяйственного назначения был выбран земельный участок НУБ «Чкаловская» (см. рисунок 4), по границам которого проведены измерения координат поворотных точек. Измерения выполнялись с использованием двух типов оборудования. Первые измерения проводились с помощью профессионального ГНСС оборудования Prince-i90 в режиме RTK с подключением к сети СДГС. Вторые измерения осуществлялись с использованием МУ Samsung S20 и программного обеспечения «СГНССГУЗ» (приложение А) [56], работающего в режиме «Быстрая статика», что позволило сравнить точность и эффективность разных подходов к определению координатных данных в полевых условиях.

Для выполнения измерений мобильное устройство с интегрированным ГНСС-модулем было установлено на штатив в вертикальном положении. В качестве базовой станции использовался ГНСС-приемник, являющийся высокоточным геодезическим оборудованием. МУ, оснащенные ГНСС-модулями, были размещены на различных точках с известными координатами, на разных расстояниях от базовой станции. Это позволило провести сравнительный анализ точности измерений в зависимости от удаленности от базовой станции и уровня радиовидимости, обеспечивая контроль и верификацию полученных данных. Определение координат осуществлялось через вычисление фазового центра МУ, как это было в прошлых исследованиях.

Также для исследования использовались актуальные данные, полученные из выписки Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) [18] для определения конфигурации участка, на котором проходил эксперимент (рисунок 14).

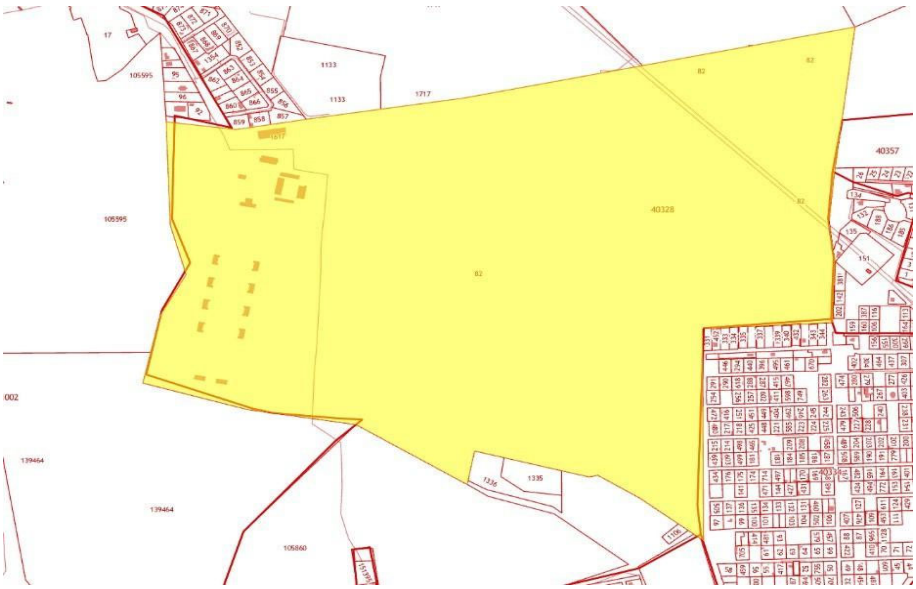

Рисунок 14 – Фрагмент публичной кадастровой карты

Фрагмент публичной кадастровой карты представляет собой графическое изображение земельного участка, на котором указаны его границы, кадастровый номер и основная информация об участке. Кадастровая карта служит важным источником данных для землеустроителей, кадастровых инженеров и других специалистов, занимающихся учётом и регистрацией земельных участков. Она позволяет визуализировать местоположение участка в системе координат, а также получить данные о его площади, границах и статусе.

После проведения измерений как традиционными методами с использованием ГНСС-оборудования, так и с применением предлагаемой методики СГНСС, была выполнена сравнительная оценка точности полученных данных. После сбора определенного количества измерений на НУБ «Чкаловская» и их обработки, следующим этапом являлся расчет оценки точности выполненных измерений. Ввиду того, что координаты пунктов на НУБ известны до миллиметров, можно уверенно утверждать, что точность данных координат в три раза выше, чем точность определения координат тех же пунктов с помощью мобильного телефона. Данный факт позволяет использовать формулу Гаусса для расчета средней квадратической погрешности

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \quad (2)$$

где m – СКП;

Δ - разность между измеренными расстояниями;

n – количество измерений.

После измерений традиционными методами (с использованием тахеометра и ГНСС) и предлагаемой методикой (СГНСС) была проведена оценка точности измеренных расстояний ГНСС и СГНСС относительно эталонных расстояний, полученных тахеометром, которая представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Погрешности измерений ГНСС и СГНСС относительно эталонных значений тахеометра

№ п/п	S, м	СГНСС, м	ГНСС, м	ΔСГНСС, м	ΔГНСС, м
1	387,600	390,420	387,622	1,789	0,022
2	310,201	313,261	310,215	1,579	0,014
3	486,502	488,962	486,539	2,184	0,037
4	226,702	229,172	226,730	1,947	0,028
5	310,704	312,894	310,719	1,605	0,015
6	351,503	354,123	351,533	2,000	0,030
7	400,803	403,303	400,814	1,500	0,011
8	581,795	584,535	581,841	2,421	0,046
9	259,803	262,833	259,823	1,737	0,020
10	432,802	435,522	432,839	2,184	0,037
11	475,796	478,306	475,819	1,816	0,023
12	175,501	178,351	175,532	2,026	0,031
13	484,100	486,560	484,132	2,053	0,032
14	243,796	246,776	243,813	1,658	0,017
15	185,803	188,363	185,852	2,500	0,049
16	671,897	675,297	671,938	2,289	0,041
17	681,098	684,348	681,146	2,474	0,048
18	594,597	597,257	594,643	2,421	0,046

Из анализа результатов измерений в таблице 17 можно установить, что СКП СГНСС-измерений составляет 2,0 м, а ГНСС-измерений 0,03 м. Оценка точности позволила выявить различия в результатах, что особенно важно для понимания эффективности новых подходов к сбору данных в полевых условиях.

Результаты сравнения представлены в виде графика на рисунке 15, который наглядно демонстрирует расхождения между традиционными методами и методикой, основанной на СГНСС.

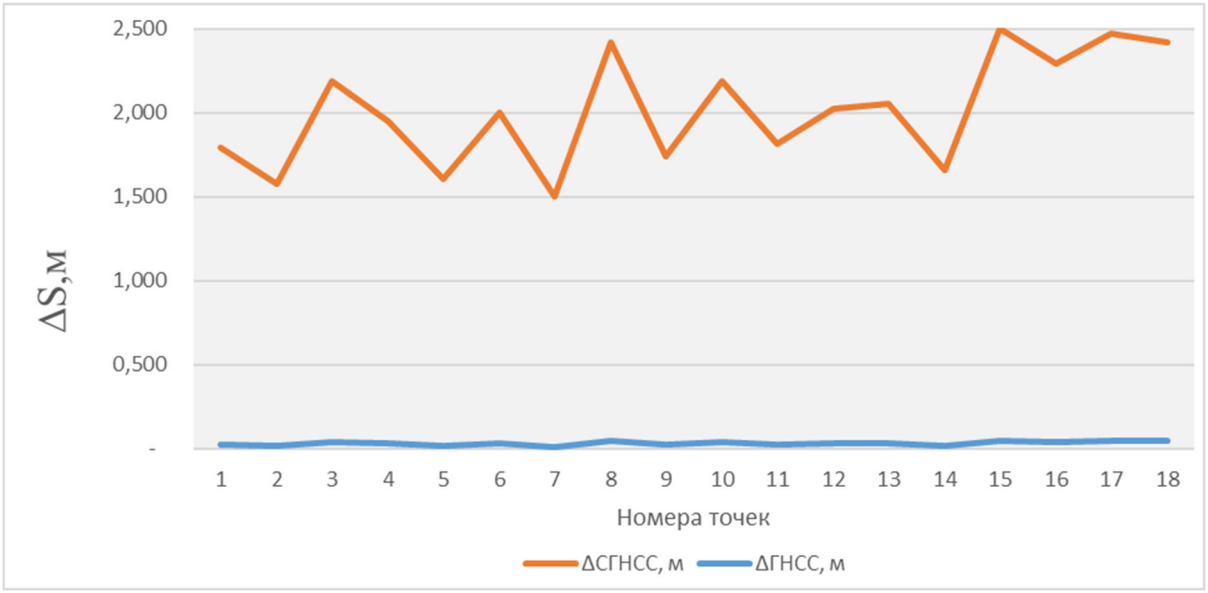

Рисунок 15 – График погрешности измерений ГНСС и СГНСС относительно эталонных значений тахеометра на землях с/х назначения

Данный анализ помогает оценить точность и надёжность разработанной методики, что особенно важно при принятии решений о её дальнейшем применении в различных областях землеустройства, кадастра и сельского хозяйства.

График показывает, что традиционный метод ГНСС обеспечивает более высокую точность координатных измерений по сравнению с СГНСС. Синяя линия, отображающая погрешность традиционного метода, находится в диапазоне от 0,01 до 0,05 м, тогда как оранжевая линия, представляющая мобильные устройства – от 1,5 до 2,5 м. Однако детальный анализ показывает, что снижение точности на точках с плохой видимостью имеет одинаковый диапазон для обоих методов.

3.5 Применение мобильных устройств с ГНСС-модулем для целей лесного хозяйства

Внедрение СГНСС открывает новые возможности для повышения эффективности управления лесными ресурсами. Точность данных, получаемых с таких устройств, в сочетании с их мобильностью и доступностью, позволяет значительно улучшить процессы мониторинга, инвентаризации и управления лесными массивами. Мобильные ГНСС-устройства позволяют оперативно собирать геопространственные данные о состоянии лесных участков, контролировать изменения в лесном покрове, а также проводить точные измерения с целью учёта и охраны лесных ресурсов.

Применение таких технологий в лесном хозяйстве может существенно сократить время на выполнение полевых работ, повысить точность картографирования лесных территорий и облегчить процесс инвентаризации. Отметим ключевые направления и примеры использования мобильных ГНСС-устройств в лесном хозяйстве.

1 Навигация и картографирование:

– ориентирование в лесу: ГНСС-навигация помогает лесникам, инспекторам и другим специалистам ориентироваться в лесу, находить нужные участки, границы лесничеств, лесные дороги и тропы;

– картирование лесных участков: с помощью мобильных устройств и специальных приложений можно создавать точные карты лесных участков с учетом рельефа, границ, дорог, водоемов и других объектов;

– инвентаризация леса: ГНСС-данные используются для определения местоположения и характеристик деревьев, что дает возможность проводить инвентаризацию леса и оценивать его состояние.

2 Мониторинг и управление лесным хозяйством:

– отслеживание лесозаготовительных работ: мобильные устройства с ГНСС помогают контролировать перемещение техники и персонала, оптимизировать логистику и планирование работ;

– мониторинг незаконных рубок: ГНСС-трекеры могут быть установлены на деревьях или технике с целью обнаружения незаконных рубок и отслеживания перемещения древесины;

– определение границ лесных пожаров: с помощью ГНСС-устройств можно быстро и точно определять границы лесных пожаров и направлять туда пожарные бригады;

– мониторинг состояния лесных экосистем: с помощью мобильных приложений можно собирать информацию о состоянии почвы, водоемов, деревьев и других компонентов лесных экосистем.

3 Другие применения:

– геодезические работы: мобильные устройства с ГНСС могут использоваться для проведения простых геодезических измерений и создания топографических планов лесных участков;

– мониторинг диких животных: существуют специальные приложения и устройства, которые позволяют отслеживать местоположение и перемещение диких животных с помощью ГНСС;

– научные исследования: ГНСС-данные используются в различных научных исследованиях, связанных с лесным хозяйством, например, с целью изучения динамики лесных экосистем и воздействия климатических изменений.

4 Преимущества использования мобильных устройств с ГНСС в лесном хозяйстве:

– повышение эффективности и точности работ: ГНСС-технологии позволяют выполнять работы более эффективно и точно, с экономией времени и ресурсов;

– улучшение управления лесным хозяйством: сбор и анализ данных при помощи мобильных устройств позволяют принимать обоснованные решения по управлению лесным хозяйством;

– охрана лесов: ГНСС-технологии помогают бороться с незаконными рубками леса и лесными пожарами, способствуя сохранению природных ресурсов.

В рамках диссертаций была проведена апробация разработанной методики на землях лесного фонда Пушкинского района Дмитровского лесничества – опытного участка № 34, который обозначен красной границей (рисунок 16).

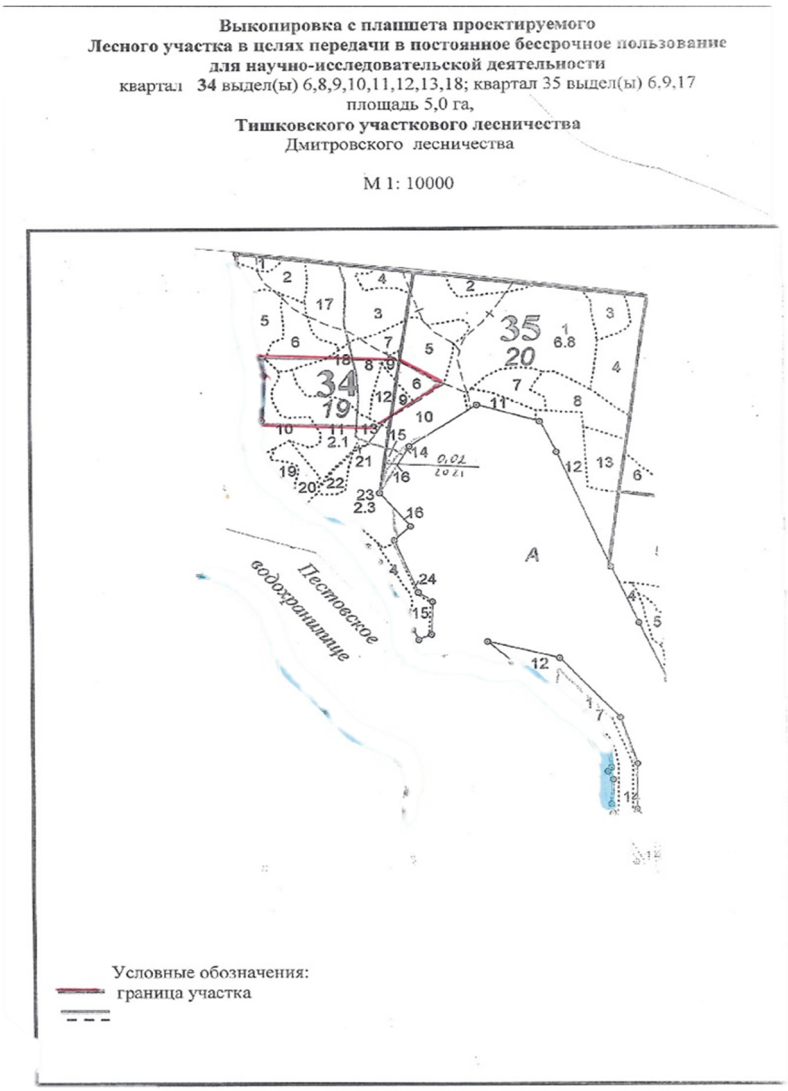

Рисунок 16 – Выкопировка с планшета

Этот этап работы осуществлялся в тесном взаимодействии с местным лесничеством и представителями ФГБУ «Рослесинфорг». Благодаря совместным усилиям специалистов, удалось не только проверить функциональность и эффективность приложения «СГНССГУЗ» (приложение А) в условиях реальной местности, но и провести оценку точности геодезических данных в сложных условиях лесных массивов. Это исследование стало важным шагом на пути к дальнейшему совершенствованию методов спутниковой навигации и адаптации технологий для нужд

лесного хозяйства, где требуется высокая точность и надёжность получаемых данных [2, 56].

Цели апробации состояли в следующем:

– оценка точности: проверка точности результатов, полученных с помощью приложения авторского мобильного ПО – «СГНССГУЗ», которое позволяет пользователям получать актуальные данные в режиме реального времени, что значительно повышает точность и оперативность выполнения задач;

– оценка эффективности: определение эффективности [32] использования приложения в лесных условиях;

– определение практической применимости: оценка возможности применения методики в реальных лесохозяйственных работах.

С помощью дифференциальных методов позиционирования, таких как RTK, была значительно повышена точность определения координат. Данные съёмки представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Погрешности измерений ГНСС и СГНСС относительно эталонных значений тахеометра

№ п/п	S, м	СГНСС, м	ГНСС, м	ΔСГНСС, м	ΔГНСС, м
1	356,002	358,502	356,014	2,500	0,012
2	672,895	675,665	672,940	2,770	0,045
3	552,603	555,213	552,637	2,610	0,034
4	479,298	481,958	479,336	2,660	0,038
5	235,804	238,304	235,815	2,500	0,011
6	235,795	238,685	235,844	2,890	0,049

На основании проведенного анализа данных в таблице 18 установлено, что СКП СГНСС-измерений составило 2,9 м, так как лесной покров ограничивает число видимых спутников, в то время как СКП для ГНСС-измерений составляет 0,035 м.

По результатам съемки был сформирован график сравнения точности положения координат на землях лесного фонда Московской области, Дмитровского района, представленный на рисунке 17.

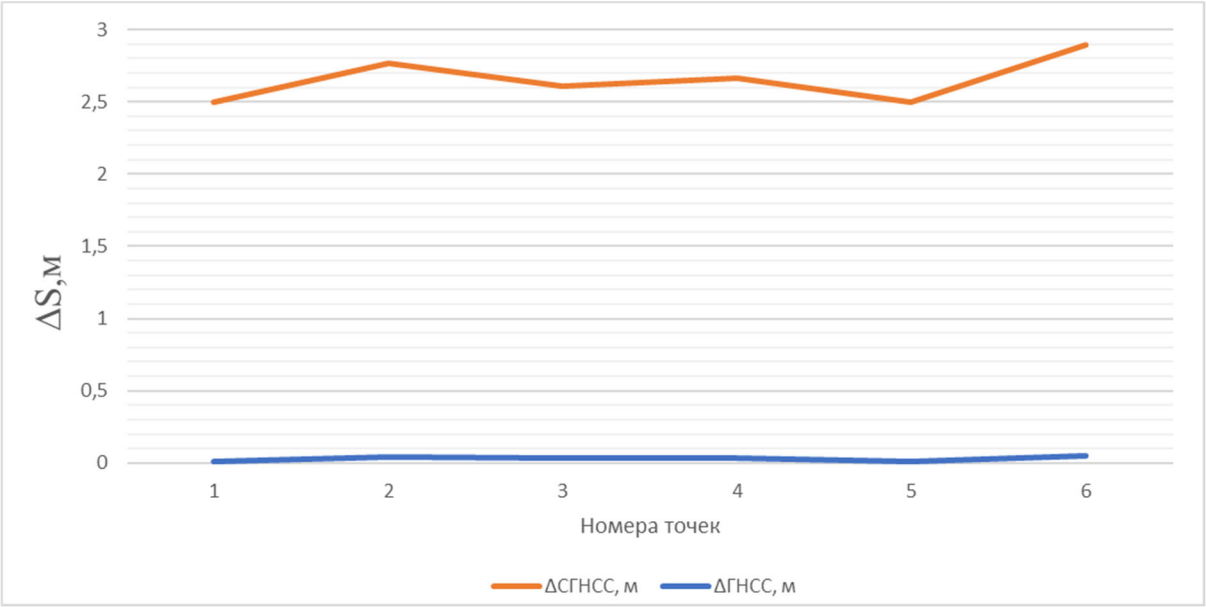

Рисунок 17 – График погрешности измерений ГНСС и СГНСС относительно эталонных значений тахеометра на землях лесного фонда

На данном графике показана среднеквадратичная погрешность определения координат точек на землях лесного фонда двумя методами: ГНСС и СГНСС. На основе представленного графика и нормативных требований Росреестра для земель лесного фонда допустимое значение точности определения границ земельных участков составляет 5 м.

Все значения СКП для СГНСС-метода находятся в диапазоне от 2,5 до 2,9 м, что соответствует требованиям Росреестра для лесного фонда (до 5 м). Для ГНСС-метода погрешность значительно ниже – в пределах 0,05–0,08 м, что также укладывается в нормативы.

Точка 1. В данной точке наблюдается СКП координат для метода СГНСС 2,5 м, а для ГНСС – до 0,07 м. Это связано с тем, что измерения проводились в лесу, и плотная растительность ухудшала качество принимаемых сигналов спутниковой системы, приводя к большему искажению и увеличению погрешности.

Точка 3. В этой точке СКП для метода СГНСС снижается до 2,6 м, а для ГНСС – до 0,06 м, что свидетельствует о синхронности данных измерений. Это связано с тем, что измерения проводились в открытом поле, где меньше препятствий для прохождения спутниковых сигналов.

Точка 4. Наблюдается увеличение СКП для метода СГНСС (до 2,7 м), что указывает на наличие лесной растительности, которая создает преграды для сигналов и ухудшает их качество.

Точка 5. Здесь также видно повышение СКП до 2,5 м, что связано с лесными условиями, где деревья и другая растительность затрудняют прохождение сигналов, соотвественно увеличивая погрешность измерений.

Следует отметить, что сигнал в лесных условиях значительно хуже, чем на открытой местности. Это связано с перекрытием сигнала и отсутствием прямой видимости, деревья создают преграды для спутниковых сигналов, и это приводит к их ослаблению или полному исчезновению.

В рамках проведенного исследования была разработана и апробирована методика геодезического обеспечения землеустроительных работ с использованием МУ с двухчастотным ГНСС-модулем. Полевые исследования, выполненные на землях лесного фонда Дмитровского района, продемонстрировали, что метод СГНСС соответствует нормативным требованиям по точности определения границ земельных участков, установленным приказом Росреестра. Максимальная среднеквадратическая погрешность для обоих методов не превышает допустимый предел в 5 м, что подтверждает их пригодность для практического применения в лесоустройстве и кадастровых работах [52].

Метод ГНСС показал более высокую точность с СКП в диапазоне от 0,40 до 0,50 м, что значительно ниже нормативного предела. Метод СГНСС, несмотря на более высокую вариабельность результатов (СКП от 2,50 до 4,00 м), также соответствует нормативам, и это дает возможность использовать его для целей инвентаризации земель лесного хозяйства, где допускается большая погрешность.

3.6 Экономический расчет выгоды использования мобильных телефонов при геодезическом обеспечении землеустроительных работ

Стоимость спутниковых измерений формируется из нескольких факторов: оплаты труда исполнителя, цены используемого оборудования и наличия базовой

станции для синхронной работы с ровером. Рассмотрим, как эти составляющие меняются при замене профессионального ГНСС-приёмника на мобильный телефон.

Во многих случаях в качестве исполнителя может выступать сам заказчик, поскольку для выполнения измерений достаточно запустить приложение на смартфоне и оставить его в неподвижном положении на заданное время. Таким образом, стоимость работ в значительной степени определяется ценой оборудования.

Из анализа данных интернет-источников, средняя стоимость определения одной точки границы участка по Москве при использовании профессионального ГНСС-оборудования составляет около 5 000 руб. При этом цена даже недорогих приёмников отечественных производителей колеблется в диапазоне 200 000–300 000 руб. Для сравнения, смартфоны производителей Huawei или Xiaomi, активно применяемые в экспериментах с точностью позиционирования, стоят 20 000–30 000 руб., что примерно в десять раз дешевле.

Зная среднюю стоимость определения одной точки границы участка и среднюю стоимость необходимого ГНСС-приемника, можно определить значение стоимости определения координат одной точки относительно цены оборудования, условно обозначив это соотношение V:

$$V = \frac{C_{р1}}{C_{об1}} \times 100\ \%, \qquad (3)$$

где $C_{р1}$ – стоимость работы исполнителя при использовании ГНСС-приемника; $C_{об1}$ – стоимость ГНСС-приемника.

$$V = \frac{5\ 000}{250\ 000} \times 100\ \% = 2\ \%.$$

Полученное процентное соотношение можно применить и для случая замены ГНСС-приёмника на мобильный телефон, средняя стоимость которого составляет около 25 000 руб. Рассчитаем себестоимость определения координат одной точки с использованием смартфона по формуле:

$$С_{р2} = \frac{С_{об2}}{100\%} \times V, \quad (4)$$

где $С_{р2}$ – стоимость работы исполнителя при использовании мобильного телефона;

$С_{об2}$ – стоимость мобильного телефона;

V – условно обозначенное соотношение.

$$С_{р2} = \frac{25\,000}{100\ \%} \times 2\ \% = 500 \text{ руб.}$$

Для оценки экономической эффективности рассчитаем суммарные затраты на определение координат одной точки:

$$З_{п} = С_{р1} + С_{об1}, \quad (5)$$

где $З_{п}$ – затраты при использовании ГНСС-приемника;

$С_{р1}$ – стоимость работы исполнителя;

$С_{об1}$ - цена оборудования.

$$З_{п} = 5\,000 + 250\,000 = 255\,000 \text{ руб.}$$

Вычислим то же самое значение для мобильного телефона:

$$З_{т} = С_{р2} + С_{об2},$$

где $З_{т}$ – затраты при использовании мобильного телефона.

$$З_{т} = 25\,000 + 500 = 25\,500 \text{ руб.}$$

Окончательным этапом станет нахождение значение полученной выгоды, в процентном значении, по формуле:

$$W = 100\ \% - \frac{З_{т}}{З_{п}} \times 100\ \%, \quad (6)$$

$$W = 100\ \% - \frac{25\,500}{255\,000} \times 100\ \% = 90\ \%,$$

где W – значение выгоды.

Таким образом, расчёты показывают, что применение мобильных телефонов в геодезических работах, не требующих сантиметровой точности, является экономически оправданным: стоимость выполнения одного и того же вида работ снижается примерно на 90 % по сравнению с использованием профессиональных ГНСС-приёмников.

3.7 Выводы по разделу 3

В данном разделе была представлена и подробно рассмотрена методика применения мобильных устройств, оснащённых ГНСС-модулями, в различных отраслях народного хозяйства, включая землеустройство, лесное хозяйство и кадастровые работы. На основе анализа современных технологий и практик был разработан методический подход, который структурирован в виде блок-схемы, представляющей собой руководство для пользователей, интегрирующих мобильные ГНСС-устройства в свою профессиональную деятельность.

Блок-схема, разработанная в рамках исследования, охватывает все этапы процесса – начиная с постановки прикладных задач и заканчивая анализом полученных данных. Данный процесс начинается с выбора задач, таких как инвентаризация сельскохозяйственных земель, кадастровые работы или мониторинг лесных массивов. Затем в блок-схеме представлены этапы выбора оборудования и программного обеспечения, анализа внешних факторов, влияющих на точность измерений (например, погодные условия, качество сигнала и расстояние до базовых станций), и методы проведения измерений, такие как RTK или статический метод.

Отдельное внимание в блок-схеме уделено этапу подключения к базовым станциям для использования СДГС с целью повышения точности данных. В случаях, когда подключение к интернету недоступно, предусмотрены шаги для выполнения измерений в автономном режиме с использованием мобильных устройств и штативов для точного позиционирования. Финальные этапы блок-схемы включают обработку данных с помощью программного обеспечения, например Кредо

ГНСС [77, 112], EFT Post Processing [84] или Trimble Business Center [127], что позволяет получить координаты в различных системах и форматах.

Блок-схема дает представление об организации работы с мобильными ГНСС-устройствами, обеспечивая чёткую последовательность действий и минимизируя ошибки на каждом этапе. Данная блок-схема должна помочь пользователям правильно выбрать методы измерений, учитывать внешние условия и эффективно обрабатывать данные для достижения высокой точности.

Таким образом, разработанные методика и блок-схема подтверждают практическую значимость мобильных устройств с ГНСС-модулями для применения в различных отраслях народного хозяйства. Разработанные технологии способствуют повышению эффективности работ в землеустройстве, кадастре и лесном хозяйстве, обеспечивая точное позиционирование, рациональное использование ресурсов и оптимизацию процессов управления земельными и лесными участками.

В третьем разделе было подробно рассмотрено создание и внедрение программного обеспечения «СГНССГУЗ» (см. приложение А [56]) для обработки данных ГНСС в реальном времени. Важным аспектом программы является её интеграция с телеграмм-ботом, предоставляющая пользователям удобный интерфейс для загрузки файлов формата RINEX, использования данных эфемерид и расчёта координат. Основной задачей разработки было создание решения, которое упрощает процесс работы с геодезическими данными в полевых условиях, позволяя пользователям выполнять точные измерения с использованием мобильных устройств.

В разделе были рассмотрены ключевые функции программы, включая обработку RINEX-файлов, использование алгоритмов для коррекции ошибок и расчёт координат в различных системах координат, таких как WGS-84 и MSK-50. Также был описан процесс генерации отчётов с координатами точек и расчётом площади участка, что делает программу особенно полезной для задач землеустройства, кадастра и инвентаризации земель.

Автором детализированы компоненты программы, включая обработку данных с использованием таких библиотек, как georinex, Skyfield, OrbitPy и shapely,

а также обозначены основные ограничения программы, связанные с качеством исходных данных и необходимостью подключения к сети Интернет. Было отмечено, что разработка данного программного обеспечения значительно улучшает точность измерений и ускоряет процессы обработки данных, делая его доступным для широкого круга пользователей и специалистов в различных отраслях народного хозяйства.

В разделе рассматривалось применение мобильных устройств с ГНСС-модулями в сельском хозяйстве, а также было проведено практическое исследование, направленное на оценку точности данных, получаемых с использованием мобильных устройств и традиционного ГНСС-оборудования. Основное внимание было уделено задачам точного земледелия, таким как навигация техники, картографирование полей и дифференцированное внесение удобрений. Была продемонстрирована роль ГНСС в оптимизации сельскохозяйственных работ.

В рамках исследования для апробации методики был выбран земельный участок НУБ «Чкаловская». Измерения проводились с использованием двух типов оборудования: профессионального ГНСС-оборудования Prince-i90 в режиме RTK и мобильного устройства Samsung S20 с программным обеспечением «СГНС-СГУЗ» (приложение А) [56], работающего в режиме «Быстрая статика». Это позволило провести сравнительный анализ точности данных, полученных с помощью этих двух методов.

Измерения были выполнены по границам земельного участка, при этом мобильное устройство с интегрированным ГНСС-модулем устанавливалось на штатив для повышения точности. В качестве базовой станции использовалось высокоточное геодезическое оборудование. Мобильные устройства размещались на различных точках с известными координатами на разных расстояниях от базовой станции, что обеспечивало возможность анализа точности измерений в зависимости от уровня радиовидимости и удалённости.

Исследование показало, что традиционные ГНСС-методы обеспечивают более высокую точность, особенно в условиях хорошей видимости небосвода. Для традиционного метода погрешность колебалась в пределах 0–0,5 м, в то время как

мобильные устройства демонстрировали погрешность в диапазоне от 1 до 2,5 м. Тем не менее, анализ показал, что снижение точности на точках с плохой видимостью (лесистые участки или большие препятствия) оказывает схожее влияние на оба метода.

Наибольшие расхождения наблюдались в зонах с ограниченной видимостью небосвода, где для традиционных методов погрешность увеличивалась до 0,6 м, а для мобильных ГНСС-устройств – до 2,5 м. Это подчеркивает необходимость улучшения условий наблюдений для достижения максимальной точности.

Несмотря на более высокую погрешность мобильных устройств по сравнению с профессиональным оборудованием, они показали достаточную точность для задач мониторинга и управления сельскохозяйственными ресурсами. Этот вывод особенно важен для небольших хозяйств, где применение мобильных ГНСС-устройств может стать экономически выгодным и достаточно эффективным решением.

В данном разделе была рассмотрена роль и значимость мобильных устройств с ГНСС-модулями в лесном хозяйстве. Применение спутниковых технологий в этой сфере открывает новые возможности для повышения эффективности управления лесными ресурсами, точности инвентаризации и мониторинга лесных массивов. Благодаря мобильным ГНСС-устройствам, специалисты могут оперативно собирать геопространственные данные, контролировать состояние лесных участков и проводить точные измерения, что особенно важно для задач охраны и рационального использования лесных ресурсов.

Основные направления использования ГНСС-модулей в лесном хозяйстве включают навигацию, картографирование лесных участков, инвентаризацию деревьев, отслеживание лесозаготовительных работ и контроль незаконных рубок. ГНСС-технологии также используются для определения границ лесных пожаров, мониторинга состояния лесных экосистем и отслеживания перемещений диких животных. Эти возможности позволяют существенно сократить время на выполнение полевых работ, повысить точность картографирования и облегчить процесс инвентаризации лесных территорий.

В рамках проведённого исследования была апробирована разработанная методика на землях лесного фонда Дмитровского района Московской области. Исследование проводилось совместно с представителями местного лесничества и Рослесинфорга, что позволило оценить точность и эффективность применения программного обеспечения «СГНССГУЗ» (приложение А) [56] в условиях реальной лесной местности. Целью апробации было не только проверить точность результатов, но и определить практическую применимость методики для лесохозяйственных работ.

Результаты сравнительного анализа методов ГНСС и СГНСС показали, что оба метода укладываются в нормативные требования по точности, установленные приказом Росреестра для земель лесного фонда (5 м). Метод ГНСС продемонстрировал более высокую точность (СКП от 0,40 до 0,50 м), тогда как метод СГНСС показал более высокую вариабельность (СКП от 2,50 до 4,00 м). Несмотря на большую погрешность метода СГНСС, он также соответствует нормативам, что делает его приемлемым для использования в условиях лесного хозяйства.

Особое внимание было уделено точкам с различными условиями видимости небосвода. Исследование показало, что в точках с плотной растительностью погрешность увеличивается для обоих методов, но особенно это заметно при использовании мобильных устройств, где сигнал может ухудшаться из-за перекрытия деревьями. Тем не менее, на открытых участках точность СГНСС была значительно выше, что подтверждает применимость метода для лесных территорий, где важно быстрое и точное измерение в полевых условиях.

Полевые исследования продемонстрировали, что мобильные ГНСС-устройства могут успешно применяться при решении задач инвентаризации и мониторинга лесных участков, особенно в тех случаях, когда точность в пределах нескольких метров является допустимой. В дальнейшем планируется совершенствование методики для повышения точности в условиях лесных массивов, а также расширение её применения в рамках лесоустроительных и кадастровых работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге выполнения диссертационной работы с целью мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и лесного фонда была разработана методика геодезического обеспечения землеустроительных и кадастровых работ на основе применения мобильных устройств с ГНСС-модулями и проведено ее экспериментальное исследование по данным СГНСС, а также разработано специализированное ПО.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

– проведен анализ нормативных и методических документов, регламентирующих порядок выполнения геодезических измерений при инвентаризации и мониторинге земель, требования к точности определения координат на земельных участках различных категорий в зависимости от применяемого геодезического оборудования;

– разработана методика выполнения геодезических измерений с использованием двухчастотных мобильных ГНСС-устройств в различных режимах. Методика гарантирует соблюдение технологии и точности определения координат характерных точек границ земельных участков кадастровых и землеустроительных работ при уменьшении финансовых затрат;

– разработано ПО для математической обработки ГНСС-измерений, которое позволяет выполнять автоматизированные расчеты координат и оценку погрешностей в соответствии с требованиями нормативных документов;

–выполнены экспериментальные исследования результатов измерений с мобильных ГНСС-устройств. Выявлены закономерности влияния многолучевого распространения сигнала, условия радиовидимости, удаленности от базовых станций и продолжительности наблюдений на точность определения координат. Результаты показали, что в условиях открытой местности погрешность составляет от 1,0 до 2,5 м;

– выполнена апробация разработанной методики и ПО на реальных объектах

сельскохозяйственного назначения и лесного фонда. Экспериментальные результаты подтвердили возможность применения мобильных устройств с ГНСС-модулями для выполнения геодезических работ по установлению границ земельных участков, с точностью, соответствующей нормативам для земель с/х назначения и лесного фонда.

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию при выполнении землеустроительных, лесоустроительных и кадастровых работ.

Перспективы дальнейших исследований по данному направлению заключаются в проведении дальнейших исследований и модернизации ГНСС-модулей мобильных устройств.

Полученные результаты демонстрируют перспективы широкого применения современных мобильных ГНСС-технологий в геодезическом обеспечении землеустроительных и кадастровых работ. Это открывает возможности для сокращения временных и финансовых затрат на измерения, повышения их оперативности и улучшения качества мониторинга земельных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Аврунев, Е. И. Геодезическое обеспечение государственного кадастра недвижимости : монография / Е. И. Аврунев. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 144 с. – Текст : непосредственный.

2 Аврунев, Е. И. К вопросу о контроле выполнения кадастровых работ в отношении ранее учтенных земельных участков / Е. И. Аврунев, В. В. Вылегжанина, И. А. Гиниятов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 3 : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 2. – С. 106–112.

3 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1 : монография / К. М. Антонович. – Москва : ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с. – ISBN 5-86066-072-3. – Текст : непосредственный.

4 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 2 : монография / К. М. Антонович. – Москва.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006. – 311 с. – ISBN 978-5-86066-077-9. – Текст : непосредственный.

5 Антонович, К. М. Совершенствование методики точного дифференциального позиционирования по результатам ГНСС-измерений (Precise Point Positioning) / К. М. Антонович, Л. А. Липатников. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 44–47.

6 Атаманов, С. А. Вопросы систематизации документов о недвижимости при кадастровых и экспертных работах / С. А. Атаманов, С. А. Григорьев. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2020. – Т. 64. – № 2. – С. 215–220. – DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-215-220.

7 Аэроскан. – URL: https://scan.aero/. – Текст : электронный.

8 Бровар, Б. В. О некоторых понятиях геодезической гравиметрии / Б. В. Бровар. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2014. – № 1. – С. 48–51. – DOI 10.22389/0016-7126-2014-883-1-48-51.

9 Геодезия : учебник для вузов / А. Г. Юнусов, А. Б. Беликов, В. Н. Баранов, Ю. Ю. Каширкин. – 2-е изд. – Москва : Академический проект; Трикста, 2015. – 409 с. – Текст : непосредственный.

10 Геоскан Planner – URL: https://www.geoscan.ru/ru/software/geoscan_planner. – Текст: электронный.

11 Головин, П. Н. Применение ГИС-технологий для оценки и повышения эффективности использования сельскохозяйственных земель в агроландшафтах на основе дистанционных и полевых данных / П. Н. Головин, В. Л. Богданов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 1. – С. 73–87. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-73-87.

12 ГОСТ Р 59562–2021. Съемка аэрофототопографическая. Технические требования. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 62 с. – Текст : непосредственный.

13 Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации : утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 14.05.2021 № 731. – URL: http://pravo.gov.ru. – Текст: электронный.

14 Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в … году // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – 2022. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_0115-79421/ – Текст: электронный.

15 Долин, С. В. Исследование возможности высокоточного позиционирования с использованием смартфонов нового поколения / С. В. Долин, А. В. Мареев, Л. М. Михаханова – Текст : непосредственный // Вестник СГУиТ – 2023. – Т. 28, №6. – С. 28–34. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-6-28-34.

16 Долин, С. В. Учет дифференциальных кодовых задержек многосистемных ГНСС-измерений при позиционировании в режиме реального времени методом Precise Point Positioning / С. В. Долин. – Текст : непосредственный // Гироскопия и навигация. – 2022. – Т. 30, № 4 (119). – С. 142–151. – DOI 10.17285/08697035.00108.

17 Донхван, Юн. Повышение точности определения местоположения с помощью алгоритма DGNSS-CP в смартфонах / Донхван Юн, Чандон Ки, Дживон Со,

Бёнвун Пак – Текст: непосредственный // Датчики. – 2016. – № 16 (6). – С. 910. – DOI 10.3390/s16060910.

18 Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН) – URL: https://ru.reestrgos.com/. – Текст : электронный.

19 Елшеви, М. А. Повышение точности абсолютного позиционирования глобальных навигационных спутниковых систем для целей геодезии / М. А. Елшеви, А. М. Елшештави. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2021. – Т. 65, № 1. – С. 30–37. – DOI 10.30533/0536-101X-2021-65-1-30-37.

20 Жданова, П. В. Оценка точности двухчастотных ГНСС-измерений со смартфона Xiaomi Mi8 / П. В. Жданова, С. В. Долин – Текст : непосредственный // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения, 23–25 ноября 2022 г., Новосибирск. В 3 ч. Ч. 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – С. 190–196. – DOI 10.33764/2687-041X-2023-1-190-196.

21 Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 года № 136-ФЗ (с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 01.04.2024 г.). – URL: http://www.consultant.ru. – Текст : электронный

22 Информационное взаимодействие с сервисами цифрового землеустройства / Т. В. Папаскири, Е. П. Ананичева, А. А. Шевчук [и др.]. – Текст : непосредственный // Московский экономический журнал. – 2020. – № 7. – С. 24. – DOI 10.24411/2413-046X-2020-10493. – EDN XTDWYD.

23 Использование смартфонов с двухчастотным модулем ГНСС в целях сельского хозяйства / А. А. Шевчук, Д. А. Бирюков, И. А. Верзилин [и др.] – Текст : непосредственный // Земля России – 2024 : Сборник материалов Первого национального форума (к 245-летию старейшего агровуза страны - Государственного университета по землеустройству). В 2-х томах, Москва, 29–31 мая 2024 года. – Москва : Государственный университет по землеустройству, 2024. – С. 273–281. – EDN DGBCCG.

24 Исследование влияния вибрации на точность измерений цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами / А. А. Бешр, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников и др. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 123–126. – EDN UMZTJT.

25 Исследование точности определения координатной точки кодовым приемником местного телефона / Д. А. Бирюков, А. А. Шевчук, В. А. Костеша, Д. В. Батенин. – Текст : непосредственный // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сборник материалов VI Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной празднованию 90-летия НИИГАиК – СГГА – СГУГиТ, 23–25 ноября 2022 г., Новосибирск. В 3 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. Ч. 1. – С. 74–79. – DOI 10.33764/2687-041X-2023-1-74-79.

26 Кадышева, Л. И. Возможность применения мобильных устройств в сфере лесоустройства / Л. И. Кадышева, А. А. Шевчук. – Текст : непосредственный. // Digital. – 2023. – Т. 4, № 1. – С. 39–47. – EDN VTEATM.

27 Кирилов, Н. А. Применение программного обеспечения iOS 14.7 для выполнения линейных измерений / Н. А. Кирилов, В. Г. Сальников – Текст: непосредственный // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сборник материалов VI Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной празднованию 90-летия НИИГАиК – СГГА – СГУГиТ, 23–25 ноября 2022 г., Новосибирск. В 3 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. Ч. 2. – С. 58-67. – DOI 10.33764/2687-041X-2023-2-58-67. – EDN IFPAZE.

28 Костеша, В. А. Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы Пятнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций. / В. А. Костеша, А. В. Хромов – Москва : Геомаркетинг, 2019. – С. 547–553. – Текст: непосредственный.

29 Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 26.12.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/6f4c0677db9318803c49685bae85daecdd960fed/. – Текст : электронный.

30 Липатников, Л. А. О методике точного дифференциального позиционирования (precise point positioning) и перспективах ее совершенствования / Л. А. Липатников. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : сб. молодых ученых СГГА (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 48–53.

31 Липатников, Л. А. Совершенствование методики точного дифференциального позиционирования с использованием глобальных навигационных спутниковых систем : специальность 22.00.32 «Геодезия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Липатников Леонид Алексеевич; Сибирская государственная геодезическая академия. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 114 с. – Текст : непосредственный.

32 Малочкин, В. Ю. Разработка методики инвентаризации земель с использованием ГИС / В. Ю. Малочкин – Текст : непосредственный // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 2 (368). – С. 17–21. – DOI 10.24411/2587-6740-2019-12020.

33 Маркузе, И. Ю. Теория математической обработки геодезических измерений : учебное пособие для вузов / И. Ю. Маркузе, В. В. Голубев. – Москва : Академический Проект, 2020. – 247 с. – ISBN 978-5-8291-2981-1. – Текст: непосредственный.

34 Методика передачи координат тахеометром на пункты внутренней разбивочной сети инженерного сооружения / Г. А. Уставич, Н. С. Косарев, Д. А. Баранников и др. // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 52–62. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-52-62. – EDN QFVUQQ. — Текст: непосредственный.

35 Методические подходы к установлению границ лесопаркового зеленого пояса / М. А. Губанищева, Е. И. Аврунев, О. В. Гамова и др. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 106–115. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-106-115. – EDN GHQWVA.

36 Методологические принципы системы точной спутниковой навигации подвижных объектов с использованием наземной инфраструктуры ГЛОНАСС / А. П. Карпик, И. Г. Ганагина, Д. Н. Голдобин, Н. С. Косарев – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 5. – С. 69–74.

37 Методы дистанционного зондирования и космическая навигация в точном земледелии : монография / Л. А. Гаврилова, А. Н. Лимонов, Л. Г. Евстратова, П. П. Лепёхин. – Москва, 2022. – 423 с. – Текст : непосредственный.

38 Неттонгланг, К. Точное определение местоположения ГНСС с помощью смартфонов / К. Неттонгланг, Т. Тонгтан, К. Сатирапод. – Текст : непосредственный // 2019 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS): материалы конф. – 2019. – С. 401–404. – DOI: 10.1109/APCCAS47518.2019.895313.

39 О внесении изменений в Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов, утвержденные приказом Рослесхоза от 10.11.2011 № 472 : приказ Рослесхоза от 15.03.2018 № 173. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_298083/0bac436d15c1212776da4bb7e2065f87e330aca0/. – Текст : электронный.

40 О геодезии, картографии и пространственных данных : федеральный закон № 431-ФЗ. – URL: https ://ww.c.ru /docum/cons_doc_LAW_191496/. – Текст: электронный.

41 О государственной регистрации недвижимости : федеральный закон от 13.07.2015 N 218-ФЗ (ред. от 26.12.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/ba806da29-640562d9b9230c79ff7b3e1548e163d/. – Текст: электронный.

42 О землеустройстве : федеральный закон от 18.06.2001 № 78-ФЗ. – URL: https: //www.consultant.py/документ/cons_doc_LAW_32132. – Текст: электронный.

43 О космической деятельности : федеральный закон Российской Федерации от 20.08.1993 № 5663-1. – URL: https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=-doc&base=LAW&n=3219#EdHq2aU7lGFGI5. – Текст : электронный.

44 О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую : федеральный закон от 21.12.2004 № 172-ФЗ (последняя редакция). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50874/. – Текст: электронный.

45 О предоставлении данных дистанционного зондирования Земли из космоса, копий данных дистанционного зондирования Земли из космоса и продуктов, созданных на их основе, содержащихся в федеральном фонде данных дистанционного зондирования Земли из космоса : постановление Правительства Российской Федерации от 28.11.2024 № 1648. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_491755/. – Текст : электронный.

46 О Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.09.2022 № 2567-р. – URL: http://www.consultant.ru. – Текст : электронный.

47 Об утверждении Положения о порядке и особенностях предоставления данных дистанционного зондирования Земли из космоса, получаемых с космических аппаратов : постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2019 № 1087. – URL: https://base.garant.ru/72651442/. – Текст : электронный.

48 Об утверждении Порядка проведения государственной инвентаризации лесов : приказ Минприроды России от 27.09.2021 № 686 (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2021 № 66748). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_406046/. – Текст : электронный.

49 Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места : приказ

Росреестра от 23.10.2020 № П/0393 (ред. от 29.10.2021) (Зарегистрировано в Минюсте России 16.11.2020 № 60938). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_368160/. – Текст : электронный.

50 Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации : постановление Правительства Российской Федерации от 11.03.2010 № 138 (ред. от 29.03.2024). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98957/. – Текст: электронный.

51 Ознамец, В. В. Геодезическое обеспечение функционирующих объектов / В. В. Ознамец – Текст : непосредственный // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 3 (13). – С. 39–48.

52 Особенности применения данных мобильных ГНСС устройств для целей инвентаризации земель / А. А. Шевчук, В. А. Костеша, Д. А. Бирюков, С. В. Митрофанов, А. Д. Крылова, К. Д. Шуравина. – Текст : непосредственный // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2024. – Т. 9, №3. – С. 64–71. – DOI: 10.25744/genb.2024.37.3.009.

53 Практика сбора, анализа и обработки семантических и пространственных данных о землях сельскохозяйственного назначения для информационного обеспечения кадастровой оценки / М. В. Козина, Н. А. Студенкова, Н. В. Гатина, Д. Е. Пальцева. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2024. – Т. 68. – № 1. – С. 84–98. – DOI 10.30533/GiA-2024-007.

54 Применение сетей дифференциальных геодезических станций для целей землеустройства и кадастров / В. А. Костеша, В. И. Холов, А. В. Хромов, И. К. Колесникова. – Текст : непосредственный // Цифровизация землепользования и землеустройства: тенденции и перспективы: Материалы международной научно-практической конференции. Москва, 14 октября 2021 года. – Москва : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Государственный университет по землеустройству, 2022. – С. 345–349.

55 Сальников, В. Г. Применение современных смартфонов с функцией LiDAR для топографической съемки масштаба 1 : 500 / В. Г. Сальников, С. Р. Горобцов,

А. М. Астапов, Н. А. Кирилов – Текст: непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс, 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. № 1. – С. 119–125. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-119-125. – EDN MWDRGW.

56 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024688949 Российская Федерация. СГНССГУЗ: № 2024683680: дата заявления 11.10.2024: дата опубликования 02.12.2024 / А. А. Шевчук, Т. В. Папаскири, Е. П. Ананичева [и др.]; правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Малое инновационное предприятие Земинформ» (RU). – Текст: непосредственный.

57 Сизов А. П., Карпик А. П., Аврунев Е. И. и др. Геодезическое обеспечение кадастровой деятельности // Избранные проблемы и перспективные вопросы землеустройства, кадастров и развития территорий – 2017 / под общ. ред. А. П. Сизова. – Москва, 2018. – 260 с. – Текст : непосредственный.

58 Сизов, А. П., Научные основы, цели, функции, содержание и организация мониторинга земель : учебник / А. П. Сизов. – Москва : Русайнс, 2019. – 172 с. – ISBN 978-5-4365-3357-5. – Текст : непосредственный.

59 Система L1 SFMC SBAS для определения точности определения местоположения устройства Android / С. Лим, Д. Шин, Б. Пак, С. Ки, С. Со, Пак Дж., Чо А. – Текст : непосредственный // Institute of Navigation. – 2018. – С. 455–481.

60 Соловицкий, А. Н. О зонировании отработанного участка для обеспечения его рекультивации на основе прикладных малоглубинных геофизических технологий / А. Н. Соловицкий, Н. Ю. Никулин, Ф. Ю. Кайзер – Текст : непосредственный // Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация // Вестник СГУГиТ – 2023. – Т. 28, № 6. – С. 124–132. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-6-124-132.

61 Уставич, Г. А. Совершенствование технологии геометрического инженерно-геодезического нивелирования цифровыми нивелирами / Г. А. Уставич,

М. Е. Рахымбердина. – Текст: непосредственный // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2014. – № 32-2. – С. 206–210. – EDN YNWAGL. — Текст: непосредственный.

62 Уставич, Г. А. Особенности применения цифрового оборудования при геодезической съемке линейно-протяженных объектов / Г. А. Уставич, А. В. Иванов, Н. Б. Романескул. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 212–216. – DOI 10.33764/2618-981X-2019-1-1-212-216. – EDN DDXUHH.

63 Хорошилов, В. С. О развитии в геодезии идеи выбора понижающих коэффициентов для обоснования точности геодезических измерений / В. С. Хорошилов – Текст: непосредственный // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 44–47. – EDN PFOGSL.

64 Хорошилов, В. С. Применение ГИС-технологий в территориальном планировании / В. С. Хорошилов, С. А. Сухорукова, С. С. Дышлюк. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2-1. – С. 124-126. – EDN UMZTYJ.

65 Цзэн С. Оценка кинематической задержки в первое время и деформации Диптиха с использованием смартфона Xiaomi Mi 8 / Цзэн С., Куанг Ч. – Текст: непосредственный // Прикладные науки. – 2022. – 12(1). – С. 435. – DOI: 10.3390/app120.

66 Цифровое землеустройство – как фактор научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации / С. Н. Волков, Е. В. Черкашина, Д. А. Шаповалов, С. М. Жолобова, Т. А. Шанцева. – Текст : непосредственный // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2019. – № 6. – С. 5–12.

67 ЦФС PHOTOMOD – URL: https://racurs.ru/program-products/tsfs-photomod/. – Текст : электронный.

68 Шаповалов, Д. А. Проблемы и пути решения рационального использования земель сельскохозяйственного назначения. / Д. А. Шаповалов, Д. А. Хабаров. – Текст : непосредственный // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2020. – Т 7, № 186. – С. 31–35.

69 Шевчук, А. А. Методика геодезического обеспечения землеустроительных работ с применением смартфонов с двухчастотным спутниковым модулем ГНСС / А. А. Шевчук. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2024. – Т. 85, № 11. – С. 10–14. – DOI 10.22389/0016-7126-2024-1013-11-10-14. – EDN RVVKAH.

70 Шоломицкий, А. А. Инженерные геодезические и маркшейдерские работы: теория и практика : учебник для вузов / А. А. Шоломицкий, С. Г. Могильный, Н. С. Косарев ; под общ. ред. А. А. Шоломицкого. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 312 с.: ил. – Текст: непосредственный.

71 Agisoft Metashape. – URL: https://www.agisoft.com/features/professional-edition/. – Текст : электронный.

72 Alam, N. Cooperative Positioning for Vehicular Networks: Facts and Future / N. Alam, A. G. Dempster. – Текст : непосредственный // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2013. – Vol. 14, № 4. – P. 1708–1717.

73 Bahadur, B. Comparative analysis of MGEX products for post-processing multiGNSS PPP / B. Bahadur, M. Nohutcu – Текст : непосредственный // Measurement. – 2019. – Vol. 145. – P. 361–369.

74 Banville, S. Satellite and receiver phase bias calibration for undifferenced ambiguity resolution / S. Banville // Proc. ION NTM. – 2008. – С. 711–719.

75 CHC Geomatics Office 2.0 PP – URL: https://ugt-holding.ru/shop/product/po-chc-geomatics-office-2-0-pp. – Текст : электронный.

76 Collins, P. Undifferenced GPS Ambiguity Resolution Using the Decoupled Clock Model and Ambiguity Datum Fixing / P. Collins, S. Bisnath. – Текст : непосредственный // Navigation. – 2010. – Vol. 57, № 2. – P. 123–135.

77 CREDO GNSS - Orient System. – URL: https://orsyst.ru/software/credo. – Текст : электронный.

78 Dawidowicz, K. Impact of BeiDou Observations on the Accuracy of Multi-GNSS PPP in a Function of Observing Session Duration within Europe – Analysis Based on OpenSource Software GAMP / K. Dawidowicz, M. Bakuła – Текст : непосредственный // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 15, № 1. – P. 158

79 Digital Land Management / T. V. Papaskiri, A. E. Kasyanov, N. N. Alekseenko, V.N. Semochkin, E. P. Ananicheva, A. A. Shevchuk. – Текст : непосредственный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019th International Symposium on Earth Sciences: History Contemporary Issues and Prospects. – 2019. – P. 1–6. – DOI 10.1088/1755-1315/350/1/012065.

80 Directions and Methods of Digital Land Management // T. V. Papaskiri, V. N. Semochkin, E. P. Ananicheva, E. A. Zatsepina, A. A. Shevchuk. – Текст : непосредственный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Symposium" Earth Sciences: History Contemporary Issues and Prospects. – 2020. – P. 1–5. – DOI 10.1088/1755-1315/579/1/012130.

81 DJI GS Pro. – URL: https://www.dji.com/de/ground-station-pro. – Текст : электронный.

82 Dong, D. Global Positioning System Network analysis with phase ambiguity resolution applied to crustal deformation studies in California / D. Dong, Y. Bock. – Текст : непосредственный // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 1989. – Vol. 94, № B4. – P. 3949–3966.

83 DroneDeploy. – URL: https://www.dronedeploy.com/. – Текст : электронный.

84 EFT Post Processing. – URL: https://eftgroup.ru/catalog/ГНСС_oborudovanie/programmnoe_обеспечение_dlya_ГНСС/eft_post_processing/. – Текст: электронный.

85 European Union Agency for the Space Programme. EUSPA EO and GNSS Market Report. 2022. Issue 1 / European Union Agency for the Space Programme. – LU: Publications Office, 2022. – Текст: непосредственный.

86 Exploitation of Google GNSS measurement API for risk assessment of GNSS applications / N. Sikirica, E. Malić, I. Rumora, R. Filjar. – Текст : непосредственный //

2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR). – Belgrade, Serbia, 2017. – P. 1–3. – DOI: 10.1109/TELFOR.2017.8249343.

87 Feng, Y. Network-based geometry-free three carrier ambiguity resolution and phase bias calibration / Y. Feng, C. Rizos – Текст : непосредственный // GPS Solutions. – 2009. – Vol. 13, № 1. – P. 43–56.

88 FlytOS. – URL: https://ardupilot.org/dev/docs/flytos.htm. – Текст : электронный.

89 Fortunato, M. Real-Time Geophysical Applications with Android GNSS Raw Measurements / M. Fortunato, M. Ravanelli, A. Mazzoni. – Текст : непосредственный // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11, № 18. – P. 2113. – DOI 10.3390/rs11182113.

90 Galileo Technologies. – URL: https://www.galileotechnologies.com/. – Текст : электронный.

91 Ge, M. Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in Precise Point Positioning (PPP) with daily observations / M. Ge. – Текст : непосредственный // Journal of Geodesy. – 2008. – Vol. 82, № 7. – P. 389–399.

92 Geng, J. Integer ambiguity resolution in precise point positioning: method comparison / J. Geng. – Текст : непосредственный // Journal of Geodesy. – 2010. – Vol. 84, № 9. – P. 569–581.

93 Geng, J. Speeding up PPP ambiguity resolution using triple-frequency GPS/BeiDou/Galileo/QZSS data / J. Geng. – Текст : непосредственный // Journal of Geodesy. – 2020. – Vol. 94, № 1. – P. 6.

94 GNSS Differential Code Bias Product. – URL: https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/bias/. – Текст : электронный.

95 Görres, B. Absolute calibration of GPS antennas: laboratory results and comparison with field and robot techniques / B. Görres. – Текст : непосредственный // GPS Solutions. – 2006. – Vol. 10, № 2. – P. 136–145.

96 GPS Log Labs. – URL: https://gpsloglabs.com/ (дата обращения: 16.01.2025). – Текст : электронный.

97 G-Ritz Logger. – URL: https://apkpure.com/ru/g-ritz-logger/com.kubolab.gnss.gnssloggerR. – Текст : электронный.

98 Han, J. Development of a Moving Baseline RTK/Motion Sensor-Integrated Positioning-Based Autonomous Driving Algorithm for a Speed Sprayer / J. Han, C. Park, Y. Y. Jang. – Текст: непосредственный // Sensors. – 2022. – Vol. 22, № 24. – P. 9881.

99 Hou, P. Multi-frequency phase-only PPP-RTK model applied to BeiDou data / P. Hou. – Текст: непосредственный // GPS Solutions. – 2022. – Vol. 26, № 3. – P. 76.

100 IGS RINEX Working Group. – URL: https://igs.org/wg/rinex/. – Текст : электронный.

101 Information and Technological Support of Digital Land Management / T. V. Papaskiri, M. P. Burov, E. P. Ananicheva, A. A. Shevchuk, E. S. Popova. – Текст : непосредственный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics Industry Science Education (FR 2021). – 2021. – P. 1–6. – DOI 10.1088/1755-1315/867/1/012174.

102 ISTA Logger. – URL: https://www.unibw.de/lrt9/lrt-9.2/forschung/ista-logger. – Текст : электронный.

103 Janssen, V. A comparison of the VRS and MAC principles for network RTK / V. Janssen – Текст : непосредственный // International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium 2009. Holiday Inn Surfers Paradise, Qld, Australia – 2009. – 13 p.

104 Kalman, R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems / R. E. Kalman – Текст : непосредственный // Journal of Basic Engineering. –1960.– Т. 82 –С. 35–45.

105 Kiliszek, D. Performance of the precise point positioning method along with the development of GPS, GLONASS and Galileo systems / D. Kiliszek, K. Kroszczyński. – Текст : непосредственный // Measurement. – 2020. – Vol. 164. – P. 108009.

106 Lachapelle, G. GNSS precise point positioning with Android smartphones and comparison with high performance receivers / G. Lachapelle, P. Gratton. – Текст : непосредственный // Proceedings of IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing 2019 (11–13 December 2019, Chongqing, China). – 2019. – P. 1–9. – DOI 10.1109/ICSIDP47821.2019.9173062

107 Litchi. – URL: https://flylitchi.com/. – Текст : электронный.

108 Liu, T. Multi-GNSS triple-frequency differential code bias (DCB) determination with precise point positioning (PPP) / T. Liu. – Текст: непосредственный // Journal of Geodesy. – 2019. – Vol. 93. – № 5. – P. 765–784.

109 MapPilot. – URL: https://enterprise.dji.com/de/ecosystem/map-pilot. – Текст : электронный.

110 Montenbruck, O. GNSS satellite geometry and attitude models / O. Montenbruck. – Текст: непосредственный // Advances in Space Research. – 2015. – Vol. 56, № 6. – P. 1015–1029.

111 Montenbruck, O. The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS) – Achievements, prospects and challenges / O. Montenbruck. – Текст: непосредственный // Advances in Space Research. – 2017. – Vol. 59, № 7. – P. 1671–1697.

112 Orsyst. – URL: https://orsyst.ru/blog15 (дата обращения: 16.01.2025). – Текст : электронный.

113 Pan, L. Ambiguity resolved precise point positioning with GPS and BeiDou / L. Pan, Z. Xiaohong, G. Fei. – Текст : непосредственный // Journal of Geodesy. – 2017. – Vol. 91, № 1. – P. 25–40.

114 Pix4D. – URL: https://www.pix4d.com/. – Текст : электронный.

115 Quality analysis of multi-GNSS raw observations and a velocity-aided positioning approach based on smartphones. / Liu Wanke, Shi Xiang, Zhu Feng, Tao Xianlu, Wang Fuhong. – Текст: непосредственный // Advances in Space Research. – 2019. – Vol. 63, Issue 8. – p. 2358–2377. – DOI 10.1016/j.asr.2019.01.004.

116 RINEX. The Receiver Independent Exchange Format. Version 4.00 / Ignacio Romero (ed.). – Текст : непосредственный // IGS/RTCM RINEX WG Chair ESA/ESOC/Navigation Support Office Darmstadt, Germany, 2021. – 36 p.

117 Robustelli, U. Assessment of Dual Frequency GNSS Observations from a Xiaomi Mi 8 Android Smartphone and Positioning Performance Analysis / U. Robustelli, V. Baiocchi, G. Pugliano. – Текст: непосредственный // Electronics. – 2019. – Vol. 8, № 1. – Article No. 91. – DOI: 10.3390/electronics8010091.

118 RTKLIB Explorer. – URL: https://rtklibexplorer.wordpress.com/. – Текст : электронный.

119 RT-Link. – URL: https://rtlink.ru/. – Текст : электронный.

120 Shevchuk, S. Automatization for geodetic support of 3D transient electomagnetic survey / S. Shevchuk, S. Dolin, V. Kastornykh. – Текст: непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс, 17–19 мая 2023 г., Новосибирск: сборник материалов в 8 т. Т. 1: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск: СГУГиТ, 2023. – С. 242–249. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-2-242-249.

121 Sky-Scanner. – URL: https://ru.skyscanner.com/mobile.html. – Текст: электронный.

122 Takac, F. The Relationship Between Network RTK Solutions MAC, VRS, PRS, FKP and i-MAX / F. Takac, O. Zelzer. – Текст : непосредственный // Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation. – 2008. – P. 348–355.

123 Teunissen P. J. G. Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems / P. J. G. Teunissen, O. Montenbruck (eds.). – Cham: Springer International Publishing, 2017. – ISBN 978-3-319-42926-7. – Текст : непосредственный.

124 Teunissen, P. J. G. Integer least-squares theory for the GNSS compass / P. J. G. Teunissen. – Текст : непосредственный // Journal of Geodesy. – 2010. – Vol. 84, № 7. – P. 433–447.

125 Teunissen, P. J. G. The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: a method for fast GPS integer ambiguity estimation / P. J. G. Teunissen. – Текст : непосредственный // Journal of Geodesy. – 1995. – Vol. 70, № 1-2. – P. 65–82.

126 Topcon Tools. – URL: https://www.prin.ru/opisaniya/topcon_tools/ – Текст : электронный.

127 Trimble Business Center. – URL: https://geospatial.trimble.com/en/products/-software/trimble-business-center – Текст : электронный.

128 Wang, N. Determination of differential code biases with multi-GNSS observations / N. Wang. – Текст : непосредственный // Journal of Geodesy. – 2016. – Vol. 90, № 3. – P. 209–228.

129 Wübbena, G. PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks / G. Wübbena, M. Schmitz, A. Bagge. – Текст : непосредственный // Presented at the 18th International Technical Meeting, ION GNSS-05, September 13-16, 2005, Long Beach, California. – 2005. – 11 p.

130 Zumberge, J. F. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks / J. F. Zumberge. – Текст : непосредственный // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 1997. – Vol. 102, № B3. – P. 5005–5017.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ)
СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024688949

СГНССГУЗ

Правообладатель: ***ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "МАЛОЕ ИННОВАЦИОННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ЗЕМИНФОРМ" (RU)***

Авторы: ***Шевчук Артём Александрович (RU), Папаскири Тимур Валикович (RU), Ананичева Екатерина Павловна (RU), Сошников Андрей Юрьевич (RU), Бирюков Денис Александрович (RU), Митрофанов Сергей Владимирович (RU), Богданчиков Илья Юрьевич (RU), Костеша Владимир Александрович (RU), Копытин Андрей Дмитриевич (RU), Крылова Арина Дмитриевна (RU), Демченко Тимофей Владимирович (RU)***

Заявка № **2024683680**

Дата поступления **11 октября 2024 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***02 декабря 2024 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1ac300bf54f240f670bca2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов