

На правах рукописи

Шевчук Артем Александрович



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

1.6.22. Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Государственный университет по землеустройству».

Научный руководитель – кандидат технических наук Костеша Владимир Александрович.

Официальные оппоненты:

Соловицкий Александр Николаевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», профессор кафедры геологии и географии;

Сальников Валерий Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», директор института геодезии и менеджмента.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (г. Тула).

Защита диссертации состоится 9 декабря 2025 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета 24.2.402.01 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

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

Автореферат разослан 30 октября 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Аврунев Евгений Ильич

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 02.10.2025. Формат 60 × 84 1/16.
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 120.
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 10.
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 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., Al-tamimi Z., Collilieux X., Dermanis A., Dong D., Grafarend E., Hofmann-Wellenhof V., 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 ре-

зультатов 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 измере-

ний 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 строительного-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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первом разделе представлены возможности использования современных мобильных устройств, оснащённых двухчастотными ГНСС-модулями, для выполнения позиционирования с применением метода кинематики в реальном времени (RTK). Особое внимание уделено возможности их применения в качестве источников пространственных данных при проведении землеустроительных и кадастровых работ, а также для задач инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения и лесного фонда. Выполнен анализ существующих технологий получения пространственных данных, оценена их эффективность. Выявлены основные преимущества и недостатки каждого метода. Рассмотрены спутниковые технологии, включая сети дифференциальных геодезических станций (СДГС). На рисунке 1 показаны модули, используемые для определения местоположения мобильного устройства.

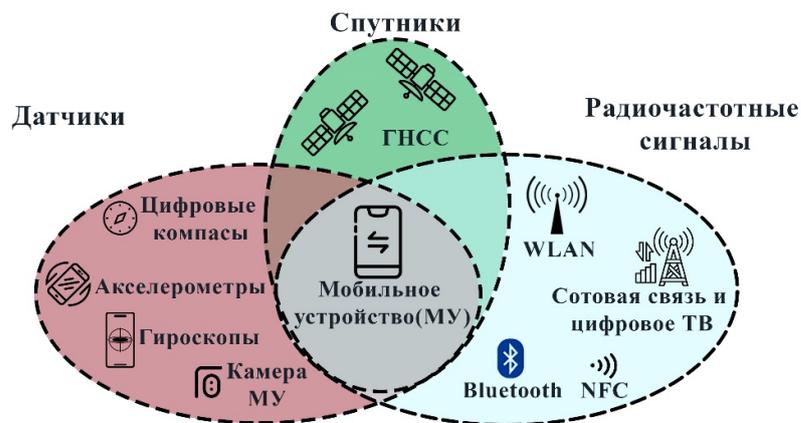


Рисунок 1 – Модули для определения местоположения мобильного устройства

Проведен анализ отечественной и зарубежной литературы на предмет получения данных с помощью СГНСС. По результатам составлена таблица, в которой представлены точности позиционирования с мобильных устройств, рассмотренных в отечественной и зарубежной литературе (таблица 1).

Таблица 1 – Анализ публикаций

| Публикация – авторы, страна, организация | Мобильное устройство | Точность определения 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., R  ther N., & Schneider A., 2018, Германия, Технический университет Мюнхена | Samsung Galaxy Y, S3 Mini, S4, S5, S6, S7 | 3,67–9,62 |
| 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 |
| Долин С. В., Мареев А. В., Михаханова Л. М., 2023, РФ, СГУГиТ, г. Новосибирск | Xiaomi Mi 8 | 0,01–0,02 |

Анализ таблицы 1 показывает, что с 2017 по 2023 г. точность планового позиционирования на смартфонах выросла с диапазона 0,6–10 м до 0,01–0,02 м.

В соответствии с приказом Росреестра от 23.10.2020 № П/0393 нормативная точность определения границ земель сельскохозяйственного назначения составляет 2,5 м, земель лесного фонда – 5,0 м.

На основании выполненного анализа можно сделать вывод о необходимости исследования возможности применения СГНСС для целей геодезического обеспечения землеустроительных и лесоустроительных работ, а также изучения факторов, влияющих на точность получаемых данных.

Во втором разделе диссертации рассмотрены возможности применения СГНСС для инвентаризации и мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и лесного фонда. Проанализированы особенности получения пространственных данных с помощью СГНСС, а также факторы, влияющие на точность ГНСС-измерений. Исследование включает анализ ПО для записи и обработки ГНСС-наблюдений, изучение зависимости и качества данных от продолжительности наблюдений и радиовидимости, а также сравнение различных ГНСС-модулей мобильных телефонов. Полевые исследования выполнены на территории научно-учебной базы (НУБ) «Чкаловская» Государственного университета по землеустройству (ГУЗ) (рисунок 2).



Рисунок 2 – Схема расположения пунктов на местности

К точкам высокой радиовидимости относятся В-20 и «Пашня»; средней — К0 и О2 и низкой — В-240 и О1.

Так как существует разная радиовидимость, было принято решение разделить её на низкую (обзор неба $< 50\%$, типична в условиях плотной застройки или густого леса), среднюю (обзор $50\text{--}80\%$, характерна для сельскохозяйственных территорий с редколесьем) и высокая (обзор $> 80\%$, типична для открытых равнин и полей).

Первое исследование посвящено анализу и выбору программного комплекса для измерительных технических средств на базе мобильных устройств с целью получения, регистрации и хранения данных спутниковых измерений. В настоящее время существует ряд приложений, которые получают доступ к необработанным данным и сохраняют их либо в определенном формате, либо в универсальном формате RINEX.

К ним относятся: GPSTest, ГНССLogger, Geo++ RINEX Logger, Rinex On, Gnut Client, ГНСС Compare, RTCM Converter, PPP WizLite.

Выявлены лучшие приложения: RinexOn и Geo++RINEX Logger, это обусловлено постоянным обновлением данных приложений и адаптацией к новым версиям операционных систем (ОС) мобильных устройств.

Проверить список устройств, поддерживающих доступ к необработанным данным ГНСС, можно на сайте разработчиков Android. Данная база данных содержит более обширные сведения о совместимости тысяч устройств и обновляется по мере добавления данных о новых устройствах. Важно отметить, что характеристики устройств могут варьироваться; например, модель Mi 8 Global отличается от моделей Mi 8 Lite и Mi 8 SE наличием данных о фазе несущей волны.

При работе необходимо учитывать версию приложения и его совместимость с определенной версией Android и ПО производителя. В исследованиях, проведенных с использованием мобильных устройств Xiaomi Mi 8 (Android 10 и MIUI 12.0.1) и Mi 11 (Android 12.5.4 и MIUI 12.5.4.0), приложения RinexOn (версия 1.3) и GNSS Compare (версия 0.53) не функционировали на модели Mi 11. Однако после обновления ПО MIUI до версии 13.0.4 приложение RinexOn (версия 1.3) начало работать корректно, что подчеркивает необходимость регулярного обновления системы и приложений.

В контексте значимости этого подхода для позиционирования ГНСС можно выделить следующие методы сбора данных с мобильных устройств под управлением операционной системы Android:

– классический метод: используется `android.gsm.location`, через который доступны только решения Position Velocity and Time (PVT), рассчитываемые внутри модуля ГНСС;

– современный метод: обеспечивает доступ к необработанным данным ГНСС (преимущественно через данные о фазе несущей) через `android.location`, что позволяет разрабатывать решения, использующие несколько систем ГНСС, и обрабатывать данные для получения более точных результатов.

По результатам исследования выбрана наиболее корректная программа для записи ГНСС-наблюдений – Geo++RINEX Logger.

Второе исследование посвящено анализу существующих на рынке программ по обработке ГНСС измерений, сравнению функциональных возможностей и оценке точности результатов. Проанализированы следующие программные продукты: EFT Post Processing (версия 2.0.0.7), Credo ГНСС (версия 2.0), СНС Geomatics Office (версия 1.0.7), Topcon Tools (версия 8.2.3).

В рамках исследования выбраны два пункта с известными координатами и обработаны в четырех программах, RINEX файлы с продолжительностью сеансов 60 минут. По результатам выполнено сравнение координат относительно среднего значения координат, а также относительно известных координат. После выполнена оценка точности, где определялись плановые среднеквадратические погрешности (СКП) определения координат пунктов (таблица 2).

Таблица 2 – СКП определения координат пунктов

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

Как следует из таблицы 2, наилучшие результаты обработки спутниковых данных были получены при использовании программы СНС Geomatics Office версии 1.0.7, где СКП составили 2 мм. Важно отметить, что программные продукты, используемые для обработки ГНСС-измерений, могут сообщать различные значения СКП, которые нередко не совпадают с реальными, что позволяет сделать вывод о различиях в алгоритмах и формулах обработки спутниковых измерений, заложенных в этих программных продуктах.

Третье исследование посвящено изучению влияния радиовидимости на точность определения координат. На местности выбраны пункты НУБ «Чкаловская», где располагается геодезический базис, наблюдение на котором выполняются ежегодно. Измерения проводились путем установки на штатив СГНСС в вертикальном положении. В приложении «Geo++ RINEX Logger» выбирался режим «Static». Измерения выполнялись синхронно несколькими сессиями: 15 минут, 30 минут и 60 минут. Базовой станцией являлся ГНСС приёмник Prince-i90 – геодезическое 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 3.

Таблица 3 – Сравнение координат и СКП, полученных в условиях различной радиовидимости

| Точки | X, м | Y, м | X _{сгнсс} , м | Y _{сгнсс} , м | ΔX _{сгнсс} , м | ΔY _{сгнсс} , м | СКП, м |
|-------|-------------|------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------|
| В-20 | 6197557,710 | 442954,167 | 6197558,983 | 442955,439 | 1,273 | 1,270 | 1,8 |
| В-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 |
| К0 | 6197467,450 | 442815,460 | 6197468,935 | 442816,945 | 1,485 | 1,485 | 2,1 |
| О1 | 6197332,800 | 442788,760 | 6197334,497 | 442790,457 | 1,697 | 1,697 | 2,4 |
| О2 | 6197450,060 | 442814,230 | 6197451,545 | 442815,715 | 1,485 | 1,485 | 2,1 |

Таблица 3 показывает, что СКП минимально при высокой радиовидимости, выше при средней и максимально при низкой, подтверждая прямую зависимость точности позиционирования от уровня радиовидимости.

Для наглядности результаты эксперимента (рисунок 3) показывают зависимости точности и радиовидимости.

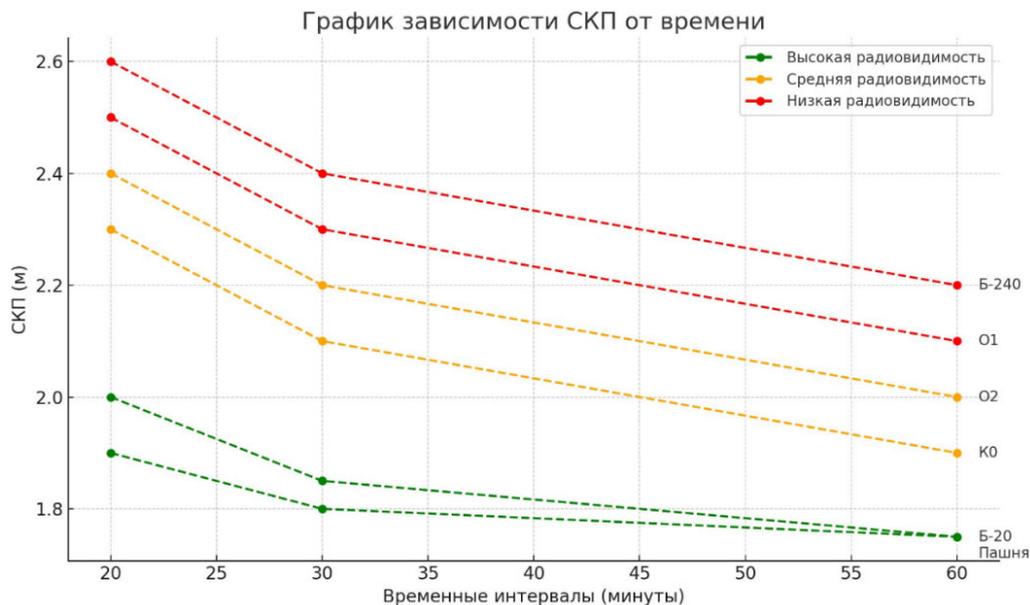


Рисунок 3 – Погрешность определения положения точек в зависимости от радиовидимости и интервала времени

Четвертое исследование заключается в определении зависимости точности полученных данных от удаленности от базовой станции и времени наблюдений. На представленном графике (рисунок 4) продемонстрирована зависимость СКП от расстояния для временных интервалов: 15 минут, 30 минут и 60 минут.

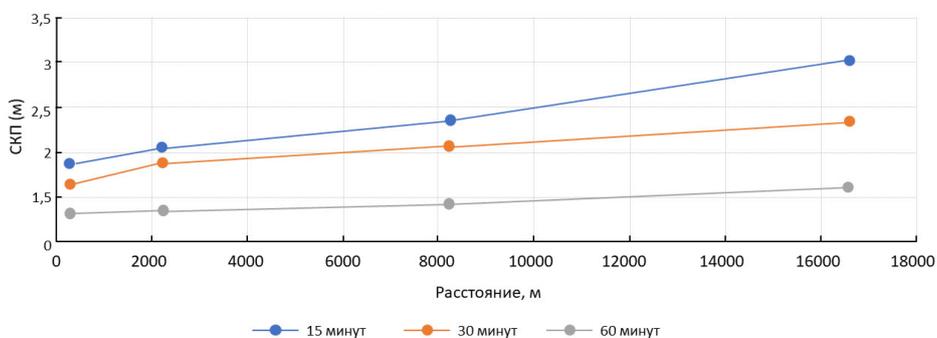


Рисунок 4 – График погрешности определения координат точек в зависимости от интервала времени и удаления от базовой станции

Анализ данных показывает, что с увеличением расстояния СКП растёт для всех интервалов. Наиболее резко — при 15 мин, из-за высоких случайных колебаний, а при 30 и 60 мин СКП снижается за счёт усреднения ошибок.

В третьем разделе по результатам выполненных исследований представлена методика применения СГНСС для целей сельского и лесного хозяйства, землеустройства и кадастра. В этом разделе исследуется применение СГНСС в различных областях народного хозяйства, разрабатываются алгоритмы и рекомендации для использования этих устройств в практической деятельности. В рамках исследования была разработана блок-схема (рисунок 5).

Практической реализацией разработанной методики является авторское ПО «СГНСС», с помощью которого можно получать координаты с мобильных устройств в режиме реального времени.

В разработанном приложении СГНСС осуществляется обработка RINEX-файла, полученного с помощью мобильного устройства. Приложение СГНСС обрабатывает этот файл, применяя серию алгоритмов для коррекции возможных ошибок и получения координат.

С целью определения измерения площади участка с помощью СГНСС проведено исследование на НУБ «Чкаловская», где получены координаты и осуществлено последующее определение площади, проведена оценка точности полученной площади, что особенно важно для сельского хозяйства, поскольку расчёты площадей земельных участков необходимы для землеустроительных работ.

СКП отражает отклонение результата от истинной площади объекта, полученной с помощью измерений его границ. Для расчета СКП площади, полученной с использованием СГНСС, используется следующая авторская формула:

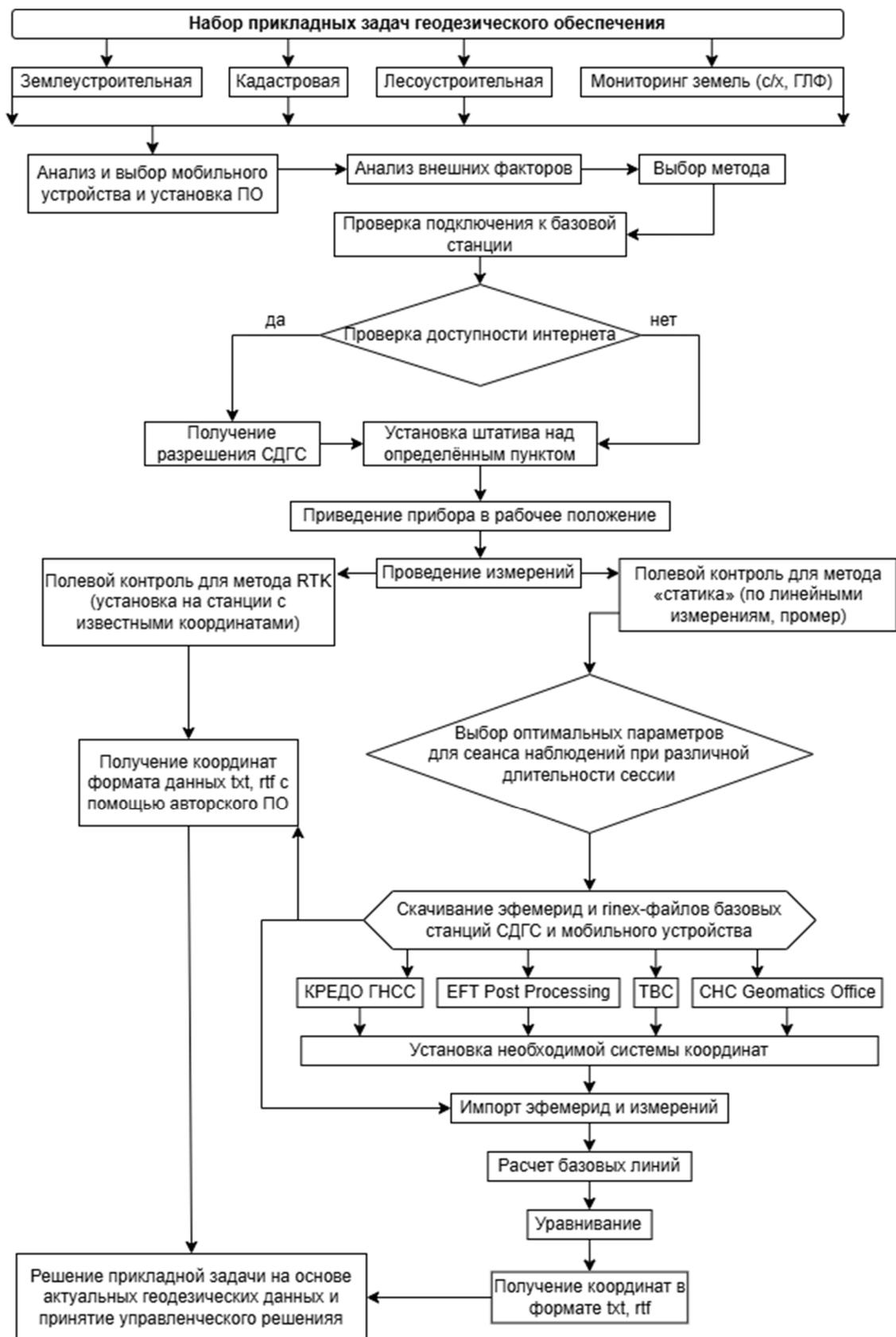


Рисунок 5 – Блок-схема разработанной методики геодезического обеспечения землеустроительных и кадастровых работ с применением мобильных устройств

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

где M_P – СКП определения площади; $m_{\text{СГНСС}}$ – СКП СГНСС измерений; n – число характерных точек определённых границ объекта недвижимости; X , Y – координаты поворотных точек.

Рассчитав точность определения координат с помощью СГНСС, вычислили СКП определения площади. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – СКП определения площади

| Радиовидимость | $P, \text{ м}^2$ | $m_{\text{СГНСС}}, \text{ м}$ | $M_P, \text{ м}^2$ | $\frac{m_P}{P}$ |
|----------------|------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| Низкая | 961073 | 3,6 | 3207 | 1/300 |
| Средняя | 961073 | 2,8 | 2524 | 1/381 |
| Высокая | 961073 | 2,3 | 2012 | 1/478 |

Анализ данных, представленных в таблице 4, подтверждает важность учета радиовидимости при планировании геодезических работ, особенно в случае необходимости обеспечения точности при определении площади на больших территориях или в сложных условиях местности. Понимание этих зависимостей позволяет оптимизировать методы измерений и повысить точность получаемых результатов, что особенно важно при применении мобильных ГНСС-устройств в полевых условиях.

В рамках апробации методики для земель сельскохозяйственного назначения был выбран земельный участок НУБ «Чкаловская», по границам которого выполнены измерения координат поворотных точек. Измерения проводились с помощью ГНСС-оборудования (Prince-i90) в режиме RTK с подключением к сети СДГС, СГНСС (Samsung S20 и ПО «СГНСС»), и тахеометра Leica TS06.

Для расчёта СКП использовалась формула Гаусса:

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

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 5.

Таблица 5 – Погрешности измерений ГНСС и СГНСС относительно эталонных значений тахеометра на землях с/х назначения

| № п/п | S, м | СГНСС, м | ГНСС, м | Δ СГНСС, м | Δ ГНСС, 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 5 можно установить, что СКП СГНСС-измерений составляет 2,0 м, а для ГНСС-измерений 0,03 м. График погрешности измерений ГНСС и СГНСС относительно эталонных значений тахеометра на землях с/х назначения представлен на рисунке 6.

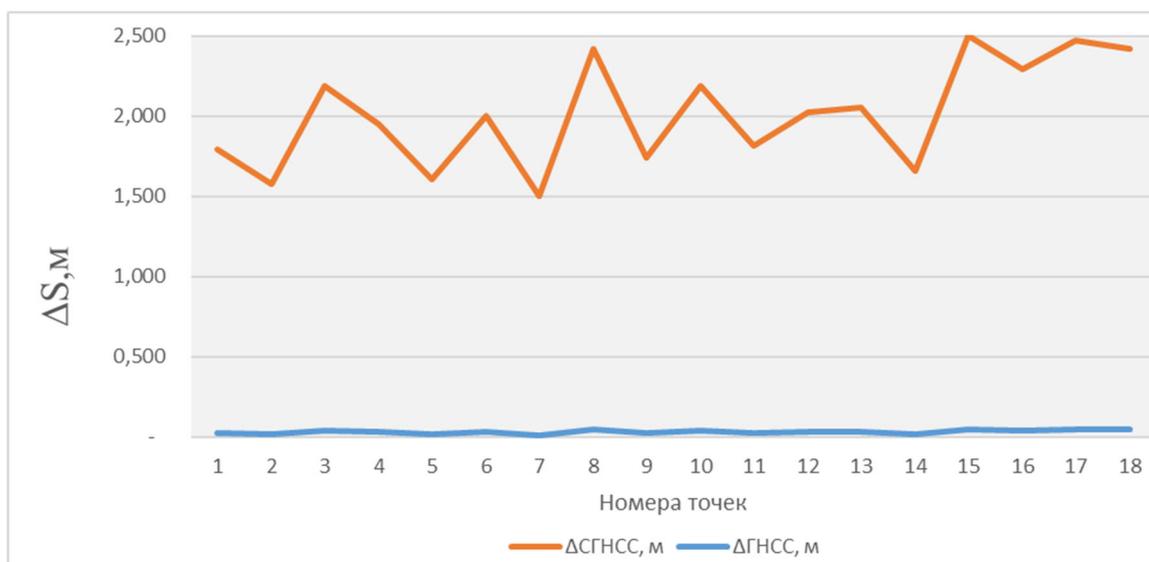


Рисунок 6 – График погрешности измерений ГНСС и СГНСС относительно эталонных значений тахеометра на землях с/х назначения

В рамках исследования была самостоятельно апробирована методика (см. рисунок 5) геодезического обеспечения с применением СГНСС на землях лесного фонда Дмитровского района Московской области. Особое внимание было уделено компенсации ионосферных и тропосферных задержек, а также многолучевому распространению сигналов. Данные съёмки представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Погрешности измерений ГНСС и СГНСС относительно эталонных значений тахеометра на землях лесного фонда

| № 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, приведённых в таблице 6, 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 0,035 м. По результатам данной съемки также был сформирован график погрешности измерений (рисунок 7).

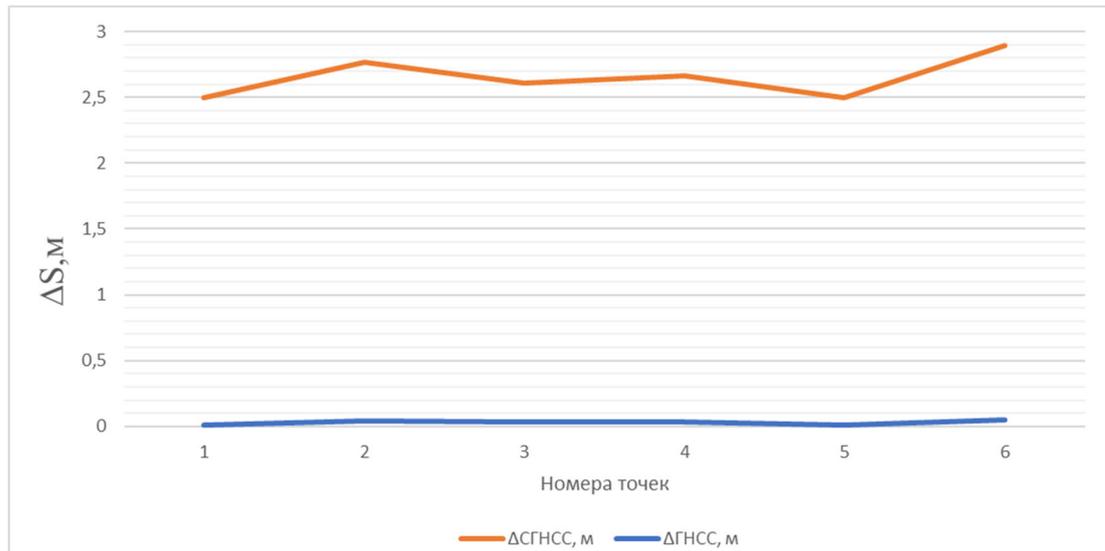


Рисунок 7 – График погрешности измерений ГНСС и СГНСС относительно эталонных значений тахеометра на землях лесного фонда

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 земель-

ных 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 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 RVVКАН.

2 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.

3 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 Земиформ» (RU). – Текст: непосредственный.

4 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.

5 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.

6 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.