

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук

подпись

« _____ » _____ 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Картографическое обеспечение задач управления инженерной
инфраструктурой ФИЦ КНЦ СО РАН
09.03.02 - Информационные системы и технологии

Руководитель _____ доцент каф. Б-ГИС, к.ф.-м.н. О.Э. Якубайлик
подпись, дата

Выпускник _____ В.В. Журавель
подпись, дата

Нормоконтролер _____ Е.В. Федотова
подпись, дата

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук
подпись

« _____ » _____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Журавелю Вадиму Витальевичу

Группа: КИ13-21Б Геоинформационные системы: 09.03.02

Информационные системы и технологии

Тема выпускной квалификационной работы: «Картографическое обеспечение задач управления инженерной инфраструктурой ФИЦ КНЦ СО РАН»

Утверждена приказом по университету № 2929/с от 07.03.2017 г.

Руководитель ВКР: Якубайлик Олег Эдуардович, доцент кафедры Б-ГИС

Исходные данные для ВКР: 255 снимков территории ФИЦ КНЦ СО РАН, полученных с квадрокоптера и 1 космическое изображение территории ФИЦ КНЦ СО РАН, полученное с ресурса Яндекс.

Перечень разделов ВКР: Введение, Анализ геоданных и литературы по предметной области, Описание используемого программного обеспечения, Обработка и анализ исходных данных для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН, Оцифровка ортофотоплана и создание фоновой подложки для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН, Веб – публикация, Заключение, Список использованных источников.

Перечень графического материала: слайды презентации.

Руководитель ВКР _____

подпись

О.Э. Якубайлик

Задание принял к исполнению _____

подпись

В.В. Журавель

« 29 » мая 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Картографическое обеспечение задач управления инженерной инфраструктурой ФИЦ КНЦ СО РАН» содержит 48 страниц текстового документа, 22 использованных источника.

ОРТОФОТОПЛАН, БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ, КВАДРОКОПТЕР, КАРТОГРАФИЯ, АКАДЕМГОРОДОК.

В работе анализировались геоданные по территории ФИЦ КНЦ СО РАН, рассматривались основные проблемы использования беспилотных летательных аппаратов и разбирались веб-технологии в ГИС.

Цель работы: создание картографической основы территории институтов Академгородка для задач обеспечения инженерной инфраструктуры ФИЦ КНЦ СО РАН, и её последующая загрузка на геопортал ИВМ СО РАН.

Задачи:

- обработка и анализ исходных данных для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН;

- оцифровка ортофотоплана и создание фоновой подложки для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН;

- веб-публикация карты.

Анализ литературы выявляет основные проблемы обработки и анализа данных аэрофотосъемки, указывает на имеющийся опыт в построении ортофотопланов и рассматривает применение различного программного обеспечения для обработки данных аэрофотосъемки и помогает разобраться во всех преимуществах и недостатках того или иного продукта.

В работе показаны этапы создания ортофотоплана на основе снимков, полученных с квадрокоптера, оцифровка ортофотоплана, использование классификации для получения подложки карты, работа со специализированным ПО и геопорталом ИВМ СО РАН.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Анализ геоданных и литературы по предметной области.....	5
1.1 Информационное обеспечение задач инженерной инфраструктуры.....	6
1.2 Проблемы использования беспилотных летательных аппаратов.....	12
1.3 Веб-технологии в ГИС.....	14
1.4 Описание геопространственной базы данных ELSAN.....	16
2 Описание используемого программного обеспечения.....	17
2.1 Программное обеспечение для работы с данными дистанционного зондирования ENVI.....	17
2.2 Свободная кроссплатформенная геоинформационная система QGIS.....	18
2.3 Программное обеспечение Agisoft PhotoScan.....	19
2.4 Веб-сайт геопортала Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук.....	20
3 Обработка и анализ исходных данных для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН.....	22
3.1 Исходные данные.....	22
3.2 Обработка и анализ снимков квадрокоптера.....	22
3.3 Создание ортофотоплана.....	29
4 Оцифровка ортофотоплана и создание фоновой подложки для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН.....	33
4.1 Этап оцифровки.....	33
4.2 Создание подложки.....	36
5 Веб – публикация.....	38
5.1 Публикация данных с помощью программного обеспечения ГеоЭкспресс.....	38
5.2 Регистрация слоев в программе ГеоЭкспресс.....	39
5.3 Тематическое оформление (раскраска) слоя.....	39
5.4 Создание карты в программе ГеоЭкспресс.....	40
Заключение.....	44
Список использованных источников.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Геоинформационные системы широко используются во многих областях нашей повседневной жизни. Анализ всех социальных, экономических и топографических особенностей территории, оценка и мониторинг состояния природной среды, моделирование экологических катастроф и анализ их последствий – это лишь небольшой перечень тех задач, которые позволяют решать современные ГИС.

Не стоит и забывать о картографическом обеспечении различных отраслей деятельности. Картография является одной из важных сфер ГИС. Для создания и обновления топографических карт традиционно использовались аэрофотоснимки. В последнее время в качестве базовой основы для топографического картографирования на первый план выходят космические снимки. На современном этапе развития картографии активно развивается геоинформационное картографирование (ГИС-картография), заключающееся в создании и использовании геоинформационных систем, цифровых и электронных карт на основе ГИС-технологий.

В эпоху развития интернета все больше набирают популярность геопорталы. Геопортал – это электронный географический ресурс, размещенный в локальной сети или сети Интернет [1]. В настоящее время на рынке геоинформационных технологий представлены достаточно разнообразные средства для создания геопорталов. Наиболее эффективными являются решения, основанные на современных коммерческих геоинформационных системах (ГИС) ведущих производителей программного обеспечения, так как они предоставляют более широкий набор стандартных инструментов для работы с геопространственными данными и позволяют создавать рабочие приложения с минимальным привлечением ресурсов разработчиков [1].

В данное время существует необходимость в картографической поддержке территории ФИЦ КНЦ СО РАН. Отсюда и вытекает цель работы: создание

картографической основы территории институтов Академгородка для задач обеспечения инженерной инфраструктуры ФИЦ КНЦ СО РАН, и её последующая загрузка на геопортал ИВМ СО РАН.

Основные задачи работы:

– обработка и анализ исходных данных для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН;

– оцифровка ортофотоплана и создание фоновой подложки для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН;

– веб-публикация карты.

1 Анализ геоданных и литературы по предметной области

Последние несколько лет наблюдается развитие, и популяризация использования беспилотных летательных аппаратов для задач дистанционного зондирования земли. По большей части это связано с выходом на рынок БПЛА дешевых и доступных коптеров. Порой даже не требуется опыт в пилотировании таких машин, так как во многих моделях присутствует автопилот. Но даже не цена и простота в освоении аппарата являются залогом роста популярности различных квадрокоптеров, гексокоптеров и им подобных. Компактность – вот характерное отличие нового витка в отрасли БПЛА. Еще с давних пор услышав беспилотный летательных аппарат или «беспилотник» мы сразу представляли модель, напоминающую самолет или вертолет ненамного меньшую по габаритам по сравнению с традиционными летательными аппаратами. Конечно же такое впечатление оставила на нас военная авиация. Сейчас же наше представление заполняют образы различных компактных мультикоптеров.

Вдаваясь в обзор литературы по области стоит отметить работу зарубежного аналитика Альфредо Рима [2]. В его статье рассматриваются некоторые экономические аспекты, которые могут поставить под угрозу популяризацию космической деятельности, в том числе беспилотных самолетов, и ключевую информацию, которая должна быть передана широкой общественности, чтобы показать, как инвестиции в космическую деятельность и инфраструктуру приносят огромные преимущества для нашей повседневной жизни.

Рассмотрением проблем обработки и анализа данных аэрофотосъемки занимаются уже давно. Интересный опыт в построении ортофотопланов можно найти в труде В.Н. Никитина и А.В. Семенцова [3]. В.Ф. Булавицкий [4] предельно ясно описывает применение беспилотных летательных аппаратов для оперативного получения аэрофотоснимков местности. Существует множество литературы, которая описывает применение различного программного

обеспечения для обработки данных аэрофотосъемки и помогает разобраться во всех преимуществах и недостатках того или иного продукта. Как пример, Е.М. Дворецкий, Ф.Ф. Замалиев, Е.В. Козин, Ю.Н. Симонов [5] в своей научной статье рассматривают применение программ для создания ортофотоплана и высказывают свои замечания по тому или иному продукту.

Обзор литературы помог определиться в основных направлениях работы и выборе программного обеспечения.

1.1 Информационное обеспечение задач инженерной инфраструктуры

Сибирское отделение — самое крупное региональное отделение РАН. Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН» включает в себя следующие институты и подразделения:

- Институт биофизики СО РАН (ИБФ СО РАН);
- Институт вычислительного моделирования СО РАН (ИВМ СО РАН);
- Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (ИЛ СО РАН);
- Институт физики им. Л.В. Киренского СО (ИФ СО РАН);
- Институт химии и химической технологии СО РАН (ИХХТ СО РАН);
- Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Красноярский НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН);
- Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера (НИИ МПС ФИЦ КНЦ СО РАН);
- Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» (СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН) [6].

Академгородок простирается в границах от енисейского берега на юге до верхней автодороги, ведущей с проспекта Свободного в сторону посёлка Удачного, оврага перед Гремячим Логом на востоке до западного склона возвышенной платформы. Таким образом, площадь Академгородка составляет около 5 квадратных километров [7].

Довольно зыбкая условная граница верхней и нижней зон – автомобильная дорога с примыкающей полосой леса, ведущая с улицы Киренского в Студгородке в направлении микрорайона «Сосны» в долине Енисея. Административно он относится к Октябрьскому району города, а окружающие его леса находятся в ведении Емельяновского района [7]. Территория ФИЦ КНЦ СО РАН занимает наибольшую территорию Академгородка.

Перед началом работы было необходимо проанализировать существующие и общедоступные данные по исследуемой территории. На рисунках 1 – 4 представлены примеры изображения территории ФИЦ КНЦ СО РАН на сервисах Google Maps, Яндекс.Карты, OpenStreetMap и 2ГИС соответственно.

Google Maps — набор приложений, построенных на основе бесплатного картографического сервиса и технологии, предоставляемых компанией Google. Созданы в 2005 году. В качестве основы глобального покрытия используются снимки со спутника LandSat-7, обработанные компанией EarthSat в рамках проекта NASA по составлению мозаики всей поверхности суши Земли (GeoCover circa 2000). Проект использовал данные, собранные камерой высокого разрешения ETM+ в период с 1999 по 2002 год. Размер каждого пикселя снимков соответствует 14,25 м земной поверхности. Сервис представляет собой карту и спутниковые снимки планеты Земля [8].

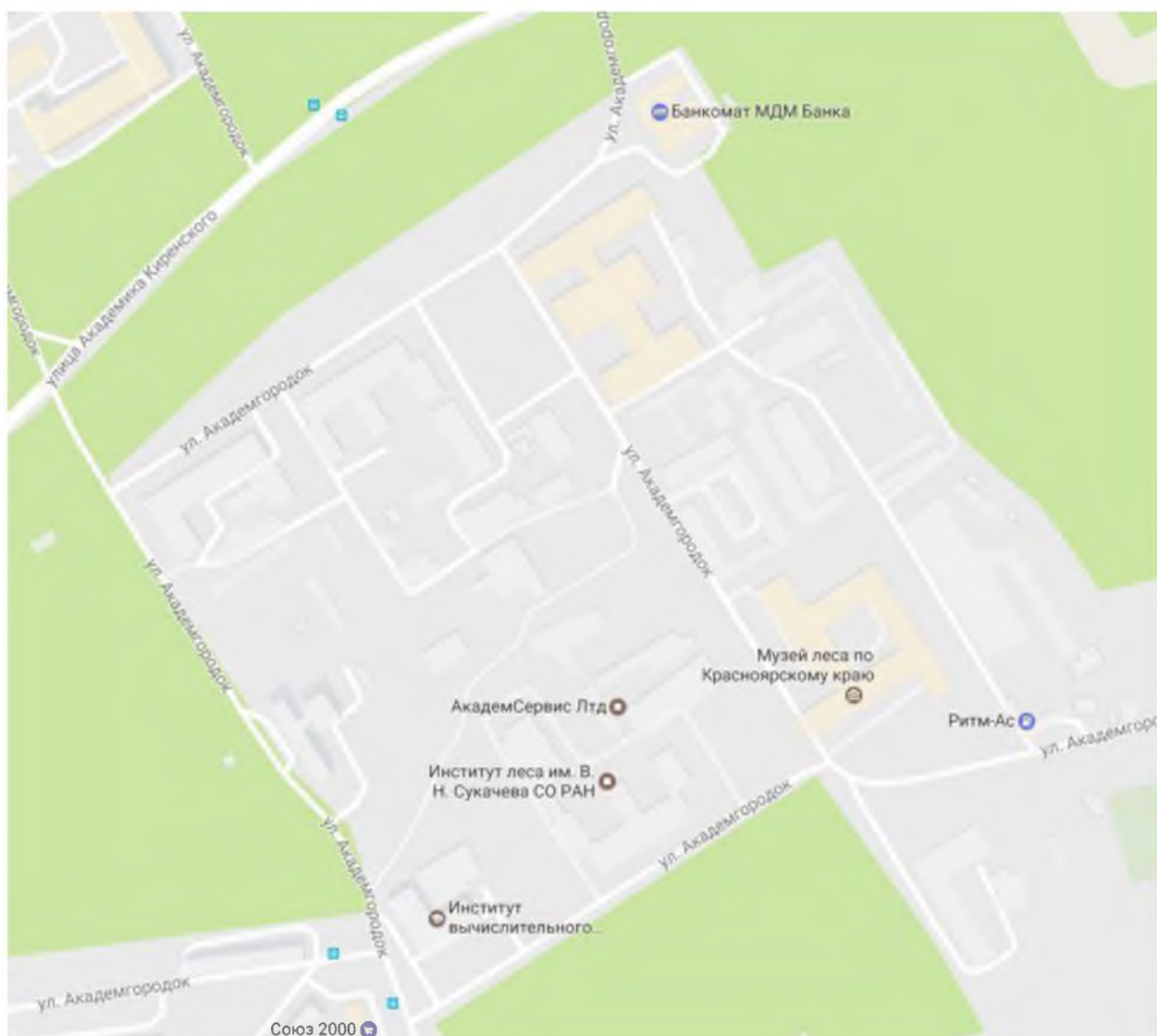


Рисунок 1 – Пример изображения территории ФИЦ СО РАН, представленный на ресурсе Google Maps

Яндекс.Карты — поисково-информационная картографическая служба Яндекса. Открыт в 2004 году. На службе представлены подробные карты всего мира. Есть поиск по карте, информация о пробках, прокладка маршрутов и панорамы улиц крупных и других городов. Спутниковые данные для карт предоставлены ООО ИТЦ «СКАНЭКС», выполнившим обработку спутниковых снимков со спутников IRS, «WorldView-2», IKONOS, TerraColor [9]. Экспортирование карт на данном ресурсе невозможно.



Рисунок 2 – Пример изображения территории ФИЦ СО РАН, представленный на ресурсе Яндекс.Карты

OpenStreetMap создан сообществом картографов, которые добавляют и поддерживают данные о дорогах, тропах, кафе, вокзалах и многих других объектах по всему миру. OpenStreetMap придаёт особое значение знанию местности. Участники также используют аэрофотоснимки, GPS-устройства и низкотехнологичных карты земель для проверки того, что данные OSM являются точными и актуальными. OpenStreetMap являются открытыми данными: вы можете использовать их для любых целей до тех пор, пока вы указываете авторские права OpenStreetMap и его участников. Если вы изменяете данные или определенным образом основываетесь на них, вы можете распространять свой результат только под той же лицензией [10].

2ГИС — международная картографическая компания, выпускающая одноимённые электронные справочники с картами городов с 1999 года. Компания заявляет, что придерживается стандартов 95% точности данных. Карты 2ГИС отрисовываются на основе спутниковых снимков территории, а затем выверяются специалистами - «пешеходами». Трёхмерные модели зданий изготавливаются на основе снимков строения с нескольких ракурсов [11].

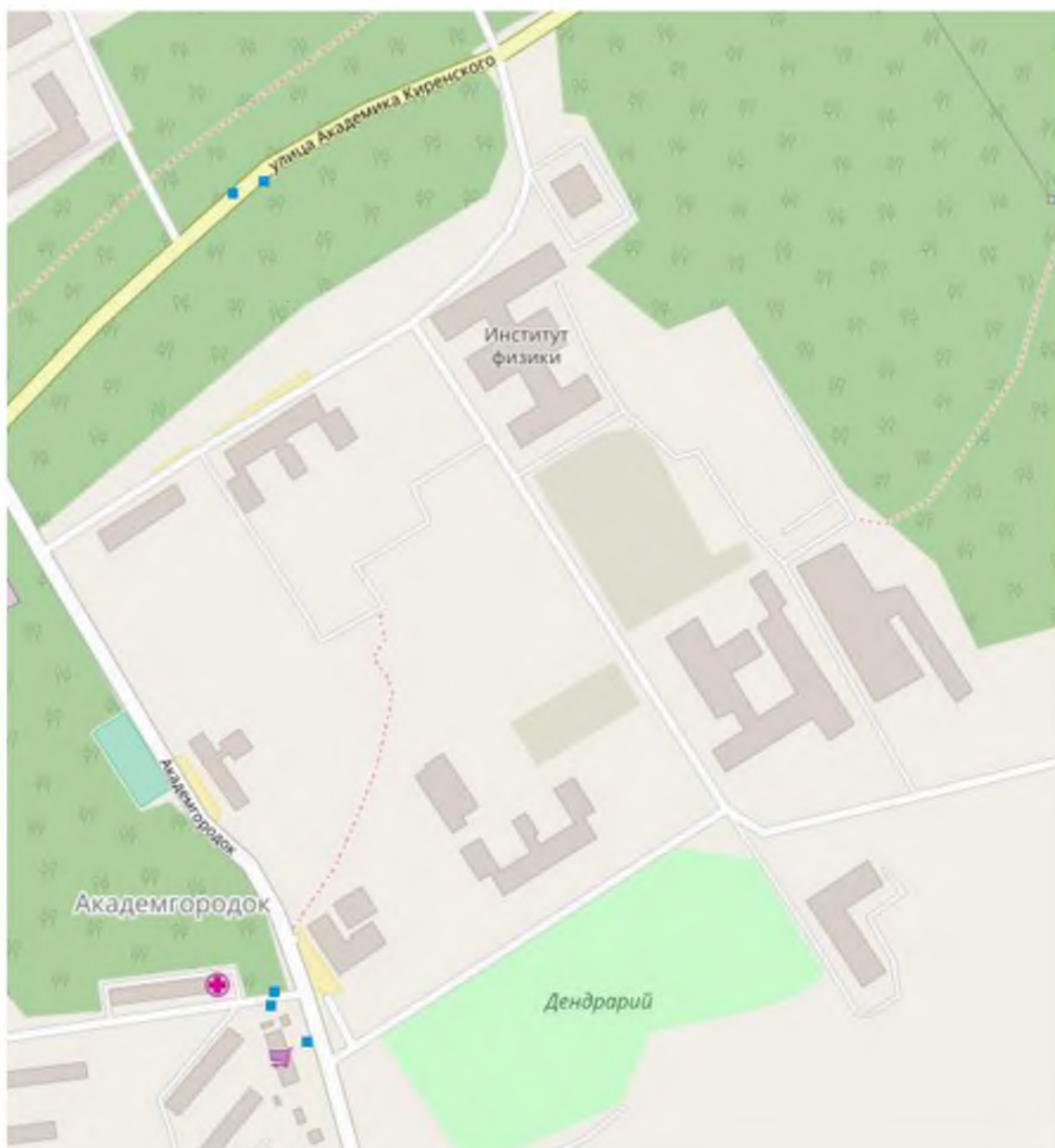


Рисунок 3 – Пример изображения территории ФИЦ СО РАН, представленный на ресурсе OpenStreetMap

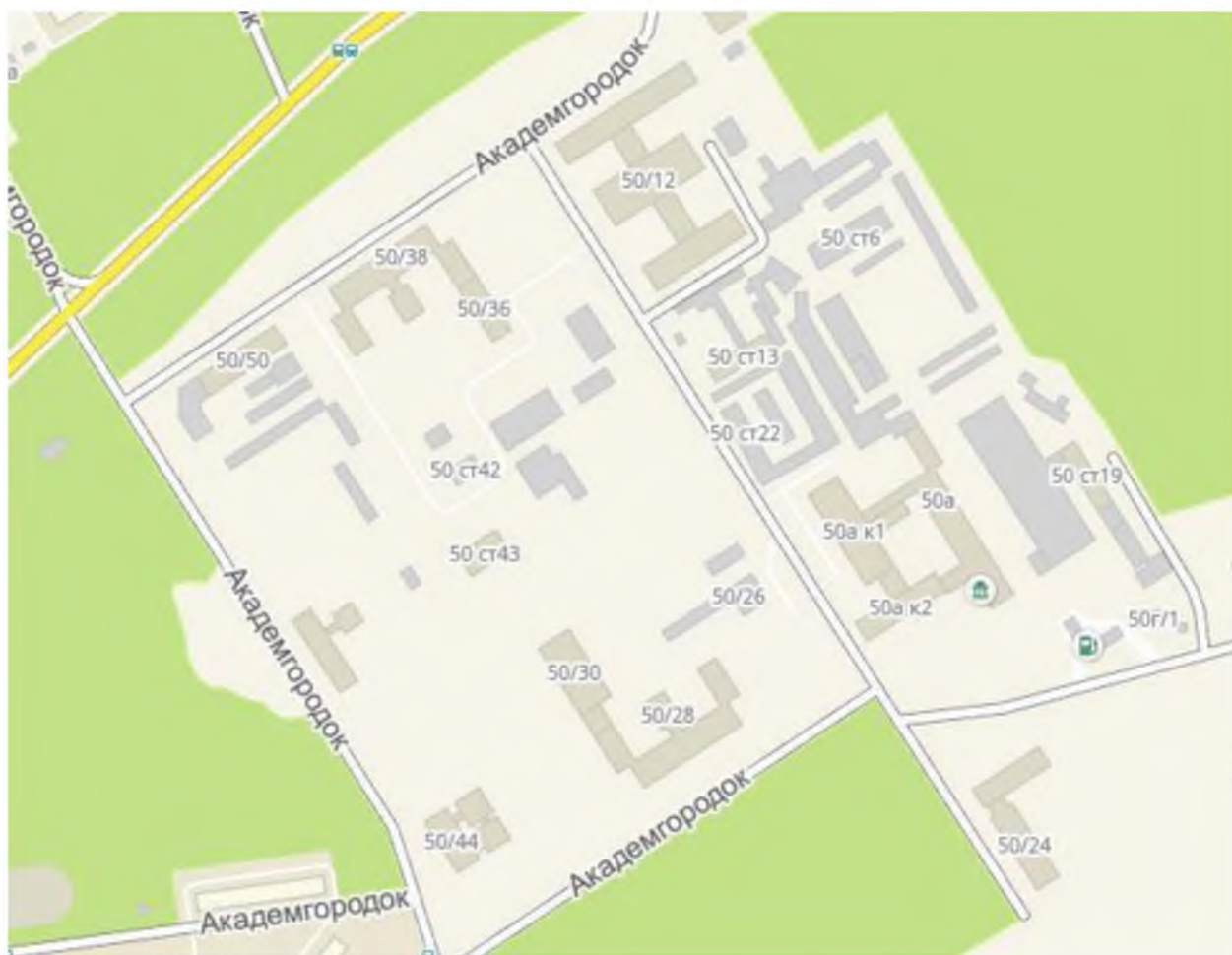


Рисунок 4 – Пример изображения территории ФИЦ СО РАН, представленный на ресурсе 2ГИС

Существует множество ресурсов для просмотра территории ФИЦ КНЦ СО РАН. Все обладают теми или иными преимуществами, но нет таких, которые будут обладать детализацией подходящей для решения вопросов управления инженерной инфраструктурой.

Основываясь на всю проанализированную информацию можно сделать вывод, что для более детального картографирования территории ФИЦ КНЦ СО РАН стоит использовать средства аэрофотосъемки и в дальнейшем для достижения дополнительных задач прибегнуть к общедоступным ресурсам.

1.2 Проблемы использования беспилотных летательных аппаратов

Так как для картографирования местности были выбраны данные, полученные с беспилотного летательного аппарата, следует обозначить основные проблемы, связанные с ними.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА или БЛА) — в общем случае это летательный аппарат без экипажа на борту. Понятие летательный аппарат включает в себя большое число типов, у каждого из которых есть свой беспилотный аналог [12].

Для еще более точного определения БПЛА необходимо подробнее остановиться на такой важной характеристике как способ управления БПЛА.

Существует следующие способы:

– ручное управление оператором (или дистанционное пилотирование) с дистанционного пульта управления в пределах оптической наблюдаемости или по видовой информации, поступающей с видеокамеры переднего обзора. При таком управлении оператор прежде всего решает задачу пилотирования: поддержание нужного курса, высоты и т.д.;

– автоматическое управление обеспечивает возможность полностью автономного полета БЛА по заданной траектории на заданной высоте с заданной скоростью и со стабилизацией углов ориентации. Автоматическое управление осуществляется с помощью бортовых программных устройств;

– полуавтоматическое управление (или дистанционное управление) — полет осуществляется автоматически без вмешательства человека с помощью автопилота по первоначально заданным параметрам, но при этом оператор может вносить изменения в маршрут в интерактивном режиме. Таким образом, оператор имеет возможность влиять на результат функционирования, не отвлекаясь на задачи пилотирования [12].

Данные спутниковой съемки позволяют получить снимки с максимальным общедоступным разрешением 0,5 м, что недостаточно для крупномасштабного

картирования. Кроме того, не всегда удастся подобрать безоблачные снимки из архива. В случае съемки под заказ теряется оперативность получения данных. В отношении компактных участков операторы и дистрибьюторы зачастую не проявляют гибкой ценовой политики [12]. Аэрофотосъемка в тоже время позволяет получить снимки с разрешением от 7 до 35 см, в наиболее подходящую для съемки погоду и по приемлемым ценам. Основное преимущество спутниковой съемки — это размер охватываемой территории.

Аэрофотосъемка с БПЛА принципиально не отличается от съемки с «больших самолетов», но имеет определенные особенности. Полет БПЛА, как правило, производится с крейсерской скоростью 70-110 км/ч (20-30 м/с) в диапазоне высот 300—1500 м. Для строгой фотограмметрической обработки данных аэросъемки и получения максимально точных результатов необходимо, чтобы снимки в одном маршруте имели тройное перекрытие, а перекрытие между снимками соседних маршрутов при площадной съемке составляло не менее 20 %. На практике, при съемке с БПЛА эти параметры выдерживаются далеко не всегда. Полет БПЛА не устойчив, на него влияют порывы ветра, турбулентность и другие возмущающие факторы [13].

Второй недостаток БПЛА относится конкретно к камерам — если использовать не профессиональные фотограмметрических камеры, а камеры где есть щелевой затвор, то в результате во время съемки экспозиция разных частей изображения производится в разные моменты времени и соответствует разным положениям носителя. Так, если выдержка при съемке составляет $1/250$ с, то при скорости БПЛА в 20 м/с смещение камеры при съемке кадра составляет 8 см, что сравнимо с разрешением съемки на малых высотах и вызывает дополнительную систематическую ошибку в снимке. Такие ошибки могут накапливаться в процессе фотограмметрического сгущения (уравнивании) при съемке протяженных территорий [13].

Если резюмировать всю информацию по аэрофотосъемке можно сделать вывод о том, что в рамках нашей задачи этот способ съемки является наиболее

подходящим. На получившихся снимках могут наблюдаться искажения, но для более точной оцифровки требуется наиболее детализированные снимки картографируемой местности

1.3 Веб-технологии в ГИС

В настоящее время происходит активное объединение ГИС и интернет-технологий. При этом web-технологии являются наиболее перспективными и используемыми, так как они позволяют строить системы хорошо масштабируемой архитектуры и легко обеспечивают интеграцию приложений [14].

Можно говорить о формировании в сети Интернет мощного геоинформационного «пласта», который уже сейчас оказывает существенное влияние на развитие ГИС и геоинформационных наук в мире. Ключевой проблемой дальнейшего совершенствования «интернетовского направления» развития ГИС-индустрии является создание специализированных ГИС-технологий. Уже в настоящее время предлагаемые и реализованные технологические решения достаточно разнообразны. Это разнообразие диктуется желанием учесть, по возможности, широкий спектр функциональных и пользовательских требований, предъявляемых к интернетовским ГИС-приложениям, таким как скорость формирования, передачи и выполнения запросов, набор геоинформационных услуг, предоставляемых сервером, возможность доступа и обработки больших массивов географической информации, удобство и легкость работы клиента и т.д. [15].

Организация структуры ГИС-сервера осуществляется на принципах MVC (Model-View-Controller) - архитектуры. Паттерн Модель-Представление-Контроллер (MVC) делит ГИС-сервер на три части. Первой частью является компонент Модель (Model), который отвечает за поведение ГИС-приложений, хранит геоданные, предоставляет данные (обычно для View), а также реагирует

на запросы (обычно от контроллера). Вид (View) обеспечивает представление этих данных пользователю. Контроллер (Controller) обрабатывает входные данные, управляет компонентами, получая сигналы в виде реакции на действия пользователя, и уведомляя об изменениях компонент Модель [16]. Такая внутренняя структура в целом разбивает систему на самостоятельные части и распределяет ответственность всего приложения на различные компоненты (рисунок 5).

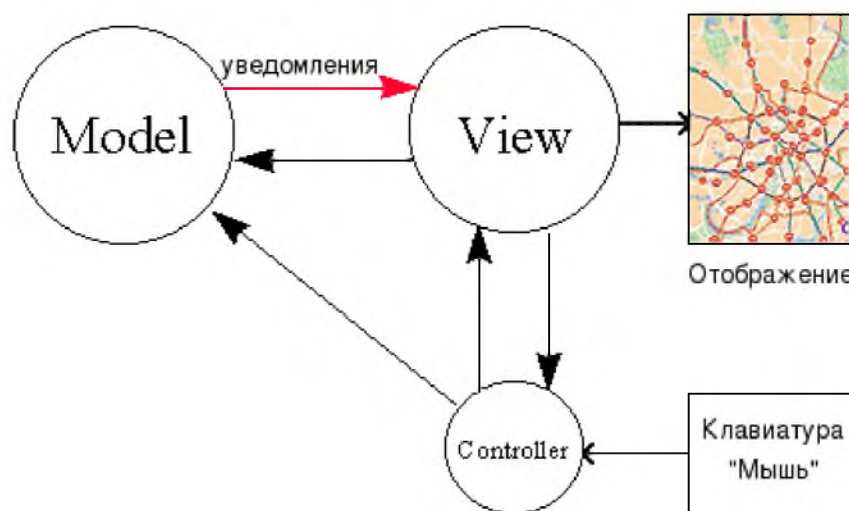


Рисунок 5 – Схема взаимодействия ГИС-сервера в MVC-модели

Таким образом во взаимодействии Интернет-ГИС-сервера и Web-браузера клиента при работе с различными геоданными можно выделить как преимущества, так и недостатки. Преимущество доступа к геоинформационному Web-серверу – в низкой стоимости и возможности обслуживать большое число потребителей геоинформации. Недостатком является то, что во многих геоинформационных ГИС-серверах до сих пор не реализованы некоторые функции, применяющиеся в профессиональных ГИС [16].

1.4 Описание геопространственной базы данных ELSAN

Начиная еще с 2014 года в ИВМ СО РАН успешно работает Автоматизированная информационная система учета инженерной инфраструктуры «Геопространственная база данных ELSAN».

ELSAN – это программный комплекс, разработанный в ИВМ СО РАН на основе технологий геоинформационных систем (ГИС), веб-систем и сервисов (геопорталов) и геопространственных баз данных, в распределенной архитектуре. В рамках системы ELSAN ведется учет объектов инженерной инфраструктуры зданий (помещений), в том числе – электрохозяйство, объекты противопожарной безопасности, сантехника, локальная вычислительная сеть, инфраструктура связи, информация по ремонту помещений, и проч. Пространственная привязка объектов выполняется на основе поэтажных планов, включенных в систему.

Технические характеристики системы ELSAN:

– серверное программное обеспечение — операционная система FreeBSD, геопространственная база данных PostgreSQL/PostGIS, программа веб-сервера Apache, собственное программное обеспечение (геопортал ИВМ СО РАН);

– клиентское программное обеспечение – свободно-распространяемые программы: QGIS (ГИС), WinSCP (клиент протокола SFTP для копирования файлов на сервер), стандартный веб-браузер;

– стандартные средства администрирования для операционной системы и используемых серверных программ, утилита pgAdmin для СУБД PostgreSQL.

На данном этапе в полном объеме присутствуют только поэтажные планы ИВМ СО РАН, но в дальнейшем планируется внедрение поэтажных планов всех институтов, входящих в состав ФИЦ КНЦ СО РАН.

2 Описание используемого программного обеспечения

На данный момент существует множество решений, позволяющих проводить автоматизированную фотограмметрическую обработку материалов аэрофотосъемки, редактирование растровой и векторной информации, создавать новые векторные слои, производить различные преобразования. Данные решения в основном разработаны зарубежными компаниями, но также существуют и русские программы. Программные средства, которые будут использованы для данной работы:

- программное обеспечение для работы с данными дистанционного зондирования ENVI;
- свободная кроссплатформенная геоинформационная система QGIS;
- программное обеспечение Agisoft PhotoScan;
- веб-сайт геопортала Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук.

2.1 Программное обеспечение для работы с данными дистанционного зондирования ENVI

Программный комплекс ENVI обладает непревзойденными возможностями по анализу мультиспектральных и гиперспектральных изображений.

Многие алгоритмы анализа изображений в ENVI специально разработаны для обработки больших объемов информации, содержащейся в гиперспектральных снимках. Комбинации спектральных каналов облегчают визуальное дешифрирование изменений различных типов. ENVI содержит спектральные библиотеки и инструменты для выполнения спектрального и топографического анализа, анализа растительности и классификации изображений [17].

Достоинством программы является наличие удобных алгоритмов автоматической векторизации результатов классификации, что особенно важно при проведении оперативного анализа в современных ГИС-пакетах. Инструменты, работающие с «целыми» пикселями, включают как стандартные алгоритмы классификации с обучением (например, минимальное расстояние или максимальное правдоподобие), так и алгоритмы, разработанные специально для анализа гиперспектральных данных (например, метод спектрального угла и приспособление к спектральным особенностям) [17].

Отличительной особенностью программного комплекса ENVI является открытая архитектура и наличие языка программирования IDL (Interactive Data Language), с помощью которого можно существенно расширить функциональные возможности программы для решения специализированных задач, создавать собственные и автоматизировать существующие алгоритмы обработки данных, выполнять пакетную обработку данных. Открытая архитектура ENVI обеспечивает удобство обработки и предоставляет пользователю возможность получить необходимую информацию быстро и просто [17].

Алгоритмы классификации с обучением программного обеспечения ENVI лучше всего подходят для задач выделения растительного покрова и на основе этого создания подложки.

2.2 Свободная кроссплатформенная геоинформационная система QGIS

Quantum GIS — свободная кроссплатформенная геоинформационная система. Интерфейс Quantum GIS намного понятнее для неискушенного пользователя, а в некоторых аспектах даже превосходит широко распространенные ГИС [18].

Quantum GIS позволяет просматривать и накладывать друг на друга векторные и растровые данные в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат. С помощью удобного графического интерфейса можно создавать карты и исследовать пространственные данные. Графический интерфейс включает в себя множество полезных инструментов [18].

В QGIS можно создавать и редактировать векторные данные, а также экспортировать их в разные форматы. QGIS может быть адаптирован к особым потребностям с помощью расширяемой архитектуры модулей. QGIS предоставляет библиотеки, которые могут использоваться для создания модулей. Можно создавать отдельные приложения, используя языки программирования C++ или Python [18].

Для задач оцифровки свободная кроссплатформенная геоинформационная система QGIS является одним из лучших выборов.

2.3 Программное обеспечение Agisoft PhotoScan

PhotoScan – программа автоматизированной фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки, разработанная петербургской компанией Геоскан. Позволяет обрабатывать любые цифровые изображения и получать:

- облака точек по качеству соответствующие воздушному лазерному сканированию;
- поверхности высочайшей детальности в виде TIN или GRID модели;
- 3D-модели, текстурированные на основе исходных изображений;
- ортофотопланы, соответствующие требованиям точности топопланов масштаба до 1:500 [19].

Данное ПО обладает всеми функциями необходимыми для обработки снимков, полученных с квадрокоптера.

2.4 Веб-сайт геопортала Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук

Геопортал — это программно-технологическое обеспечение для работы с пространственными данными. Его основная задача — обеспечение пользователя средствами и сервисами хранения и каталогизации, публикации и загрузки пространственных (географических) данных, поиска и фильтрации по метаданным, интерактивной веб-визуализации, прямого доступа к геоданным на основе картографических веб-сервисов [20].

Формирование геопортала ИВМ СО РАН началось несколько лет назад, при выполнении работ по междисциплинарным интеграционным проектам и программе фундаментальных исследований СО РАН. В процессе его разработки, по мере все более глубокого погружения в исследования, постоянно уточнялось представление о том, что он из себя представляет с технической и технологической точки зрения, какие ключевые компоненты его образуют. В частности, на первом этапе исследований разработка была сконцентрирована и, в определенном смысле, ограничена технологической платформой ГИС MapGuide Open Source и системой управления веб-контентом «1С-Битрикс». В настоящее время — это органично связанная в единое целое коллекция из пары десятков сторонних и собственных компонент и пакетов — Mapserver, OpenLayers, Drupal, PostGIS, и проч. [20].

Геопортал ИВМ СО РАН основан на использовании открытого и свободного программного обеспечения — операционная система, базы данных, ГИС, различные специализированные библиотеки, утилиты.

Сегодня геопортал ИВМ СО РАН — это комплекс программно-технологических решений, который состоит из следующих элементов:

Хранилище информационных (тематических) ресурсов.

Каталог ресурсов, которые зарегистрированы на портале.

Подсистема веб-администратора геопортала «Управление данными» (система веб-администрирования Каталога ресурсов) [20].

Редактор стилового оформления слоев и карт «ГеоЭкспресс». Windows-программа, предназначенная для создания и редактирования стилового оформления тематических карт. Является по сути одним из элементов администрирования портала, который посчитали целесообразным выделить из веб-интерфейса основной системы администрирования [19].

Пользовательский веб-интерфейс каталога ресурсов (метаданных). Веб-приложение, предназначенное для навигации по зарегистрированным в системе информационным ресурсам и поиску среди них [20].

Пользовательский веб-интерфейс (подсистема) картографической веб-визуализации. Веб-приложение для отображения карт и отдельных слоев геоданных портала через веб-интерфейс [20].

Подсистема управления веб-публикациями. Если в первой редакции геопортала — это ряд сервисов на основе «1С-Битрикс», то сейчас — это комплекс средств для формирования тематических разделов геопортала на основе системы управления веб-контентом (CMS) DRUPAL [20].

Картографические веб-сервисы. Прежде всего речь идет о веб-сервисе WMS, по которому геоданные портала доступны напрямую из стандартных ГИС [20].

Служебные веб-сервисы — набор программных интерфейсов (API), необходимых для интеграции разных элементов геопортала в единое целое [20].

Прикладные веб-сервисы. Сегодня реализованы такие функции как адресный поиск, геокодирование, прокладка маршрутов, построение водотоков [20].

3 Обработка и анализ исходных данных для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН

3.1 Исходные данные

Основные данные для работы представлены в виде 255 снимков территории ФИЦ КНЦ СО РАН, полученных при съемке с квадрокоптера. В связи с тем, что квадрокоптеру не хватило топлива он не смог заснять всю необходимую территорию — не были сняты здание Президиум КНЦ и территория, находящаяся к югу от него. В связи с этим было решено использовать данные с космического изображения, взятого с ресурса Яндекс.

Таблица 1 – Основные характеристики изображений

Наименование	Разрешение изображения, длина и ширина в пикселях	Пространственное разрешение, м в пикселе	Количество каналов, количество и наименование
Снимок территории ФИЦ КНЦ СО РАН	3840 x 2160	0.05	3, RGB
Космическое изображение, взятое с ресурса Яндекс	4127 x 3167	0.66	3, RGB

В таблице 1 представлены основные характеристики изображений.

3.2 Обработка и анализ снимков квадрокоптера

Целью обработки снимков, полученных при съемке с квадрокоптера является получение ортофотоплана территории ФИЦ КНЦ СО РАН для последующей оцифровки. Для этой задачи использовалось программное

обеспечение Agisoft PhotoScan. На рисунке 6 изображен пример изображения, полученного при съемке с квадрокоптера.

Первый шаг в обработке материалов аэрофотосъемки – загрузка фотографий. На самом деле, сами фотографии при этом в проект не загружаются, программе только указывается их расположение. Файлы изображений используются только на тех этапах обработки, где они необходимы. В результате первого шага фотографии представляют собой траекторию полета квадрокоптера в виде точек (рисунок 7).



Рисунок 6 – Пример изображения территории Института леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук, полученного при съемке с квадрокоптера

Первый этап обработки – определение параметров взаимного ориентирования снимков и построение предварительной модели местности.

В ходе выполнения этой операции PhotoScan выполняет:

- поиск характерных точек на фотографиях;
- поиск соответствий между этими точками;

- определение взаимного расположения плоскостей снимков и общих точек, и одновременно с этим – определение параметров оптической системы, наиболее соответствующих найденным параметрам;
- формирование точечной модели местности [21].

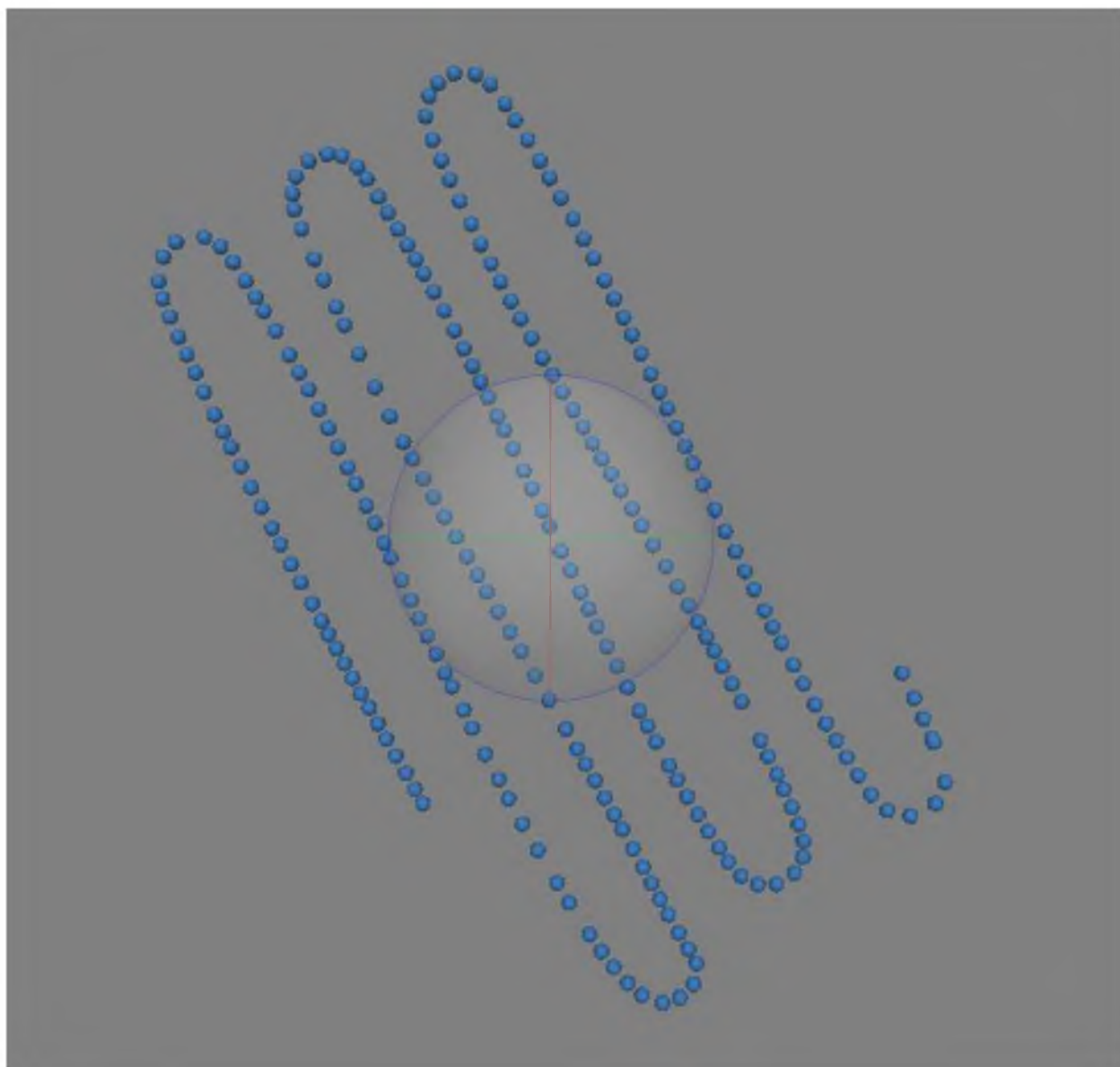


Рисунок 7 – Траектория полета квадрокоптера и отображение местоположения фотографий

Выполнение операции выравнивания регулируется следующими параметрами:

- точность;

- преселекция пар;
- максимальное количество точек;
- опцией Использовать маску для фильтрации соответствий.

Параметр «Точность» работает следующим образом. Изображения состоят из миллионов пикселей. На этапе выделения характерных точек для каждой точки на снимках, на основании распределения яркости в ее окрестностях, формируется дескриптор точки. Затем отбираются дескрипторы, обладающие некой определенной степенью уникальности, которые соответствуют наиболее особенным, характерным точкам. Максимальное количество характерных точек для снимка регулируется параметром Макс. количество точек [21]. Сам же параметр точность регулирует уменьшение фотографии, т.е. чем меньше параметр, тем меньше будет затраченное на обработку время.

«Преселекция пар». Поиск общих точек выполняется попарным сравнением дескрипторов характерных точек. При этом программа формирует наибольший из всех возможных внутренне согласованный набор общих точек. Для ускорения поиска общих точек можно использовать координаты точек съемки, если они известны. В этом случае программа будет искать общие точки только на снимках, расположенных недалеко друг от друга [21].

Маскирование используется для исключения из обработки участков фотографий, использование которых может привести к ухудшению результата. При обработке данных аэрофотосъемки, например, может понадобиться закрыть маской изображения движущихся автомобилей [21].

Входными данными для этого этапа обработки являются:

- сами фотоснимки;
- координаты центров фотографирования (необязательные данные).

По окончании операции формируется:

- разреженная точечная модель местности, состоящая из общих точек;
- расчетные координаты и параметры ориентирования снимков;
- уточненные (в первом приближении) параметры калибровки камеры.

На данном этапе были выбраны следующие параметры: точность – высокая, преселекция пар – привязка, максимальное количество точек не менялось. Результат данного этапа изображен на рисунке 8.

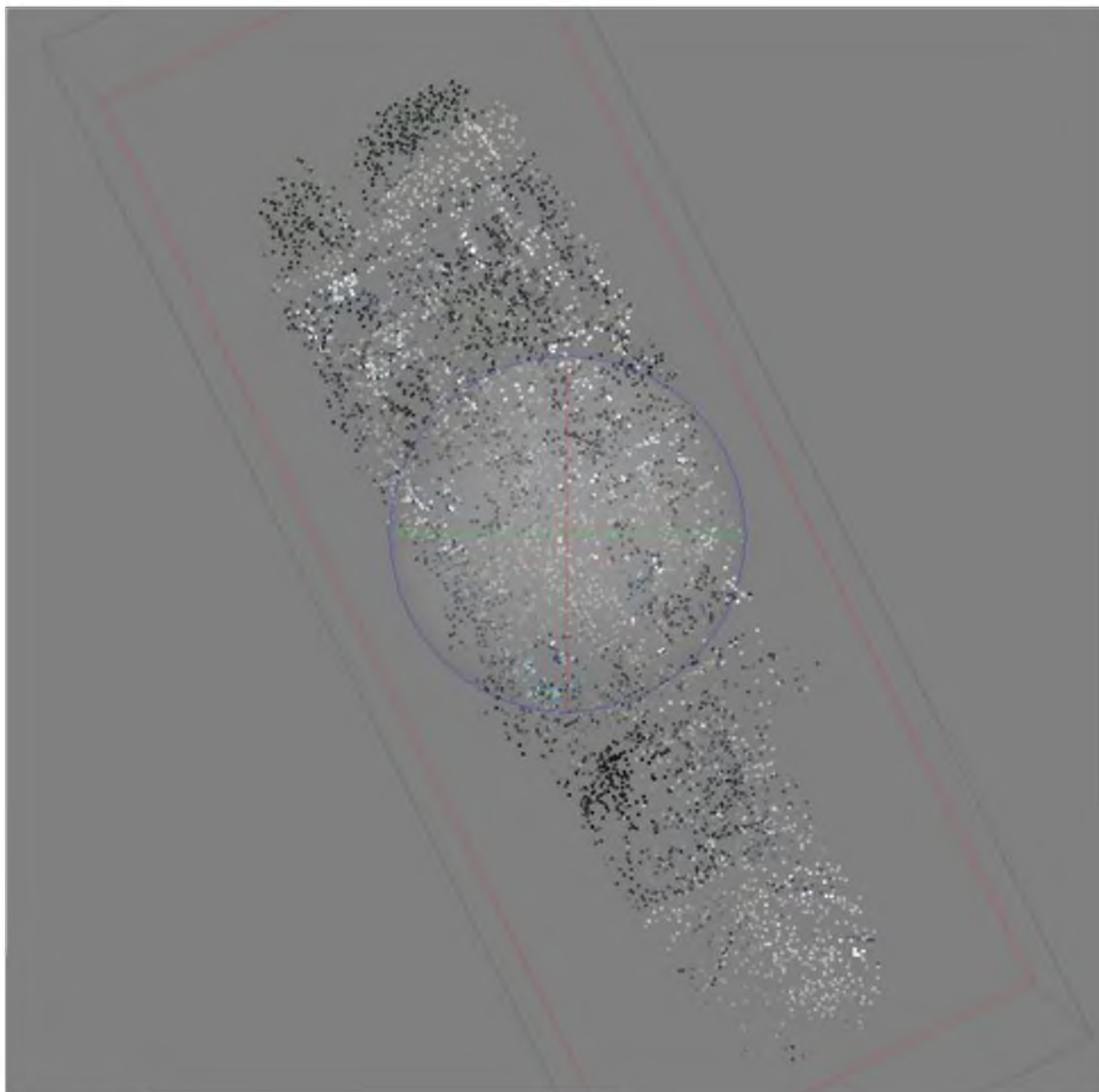


Рисунок 8 – Разреженное облако связующих точек фотографий, полученных при съемке с квадрокоптера

Следующий шаг после выравнивания фотографий, установки и загрузки координат опорных точек, привязки и уравнивания – построение детальной модели участка съемки.

На данном этапе, по сути, производится повторный поиск общих точек и определение их координат. Благодаря тому, что параметры взаимного ориентирования снимков уже известны, для каждой точки на одном снимке область, в которой может находиться соответствующая ей точка на другом снимке, известна и относительно невелика. Это позволяет определять общие точки более достоверно и существенно повысить их количество и плотность [21].

Плотное облако точек строится только в пределах рабочей области. Границы этой области отображаются в виде параллелепипеда, образованного тонкими серыми (и красными) линиями [21].

Параметры «Качество» и «Фильтрация карт глубины» позволяют изменять плотность точек, получаемых на данном этапе, и в некоторой степени отфильтровывать недостоверные точки [21].

Подобно тому, как при выравнивании используется параметр «Точность», на этапе построения модели работает параметр «Качество». Этот параметр задает плотность анализируемых пикселей на исходных изображениях и соответственно, плотность формируемого на данном этапе плотного облака точек [20].

Параметр «Фильтрация карт глубины» задает уровень фильтрации и применяемые алгоритмы. Он фактически задает допустимую степень отклонения точки от соседних точек, при котором отдельная точка считается определенно верно [21].

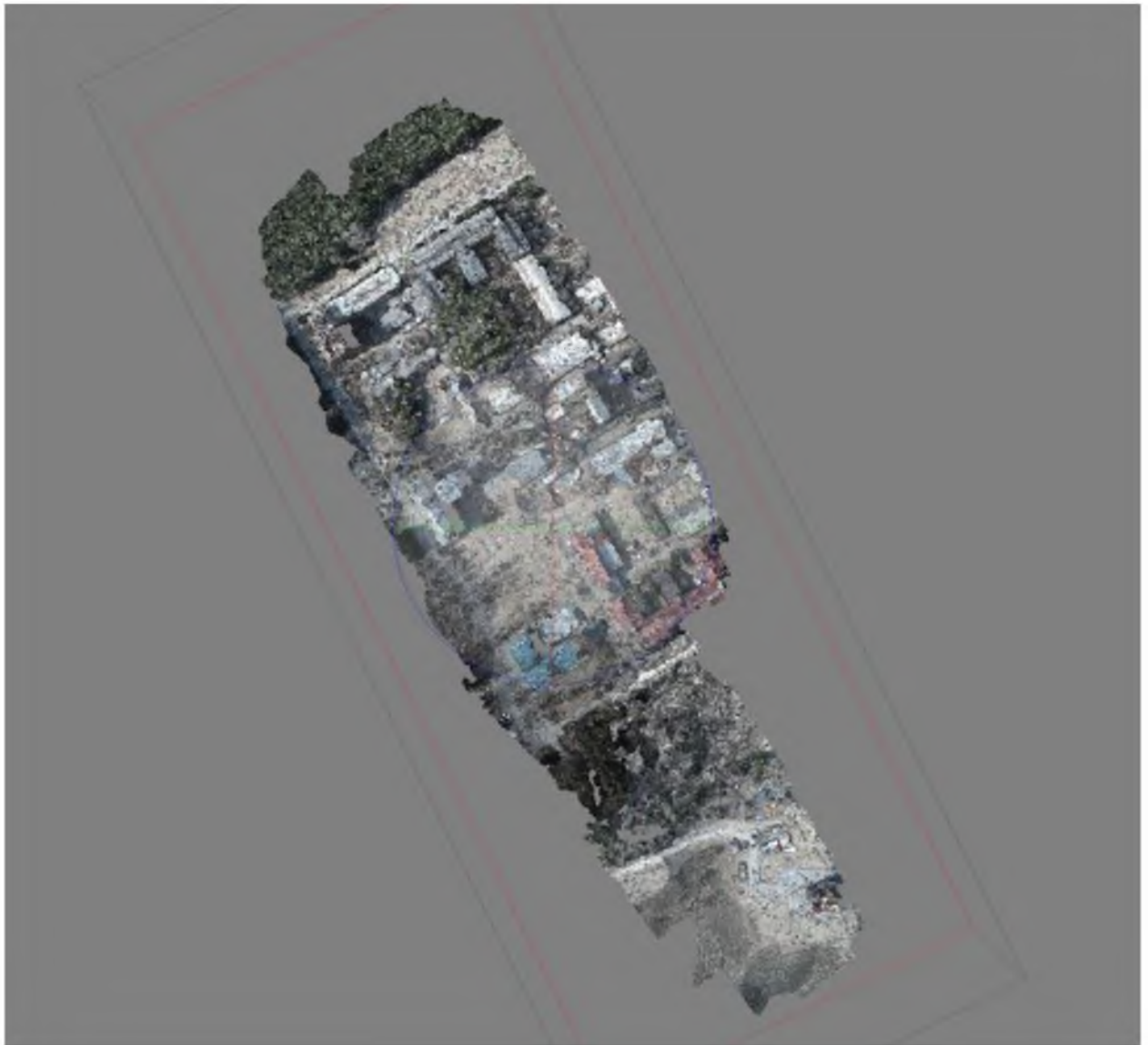


Рисунок 9 – Плотное облако связующих точек фотографий, полученных при съемке с квадрокоптера, в ПО Agisoft Photoscan

На данном этапе были выбраны следующие параметры: качество – высокое, фильтрация карт глубины – умеренная. Результат построения плотного облака точек представлен на рисунке 9. Далее это плотное облако будет использоваться для построения ортофотоплана.

3.3 Создание ортофотоплана

Ортофотоплан — фотографический план местности на точной геодезической опоре, полученный путём аэрофотосъёмки с последующим преобразованием аэроснимков (из центральной проекции в ортогональную) на основе эффективного метода их дифференциального ортофототрансформирования, разработанного в середине 60-х гг. 20 в. [22].

В ПО Agisoft Photoscan ортофотоплан строится из исходной фотографии на основании данных о рельефе местности, который представляет полученная модель.

Существует несколько режимов и способов получения единого фотоизображения:

- усреднением, т.е. смешиванием исходных изображений;
- мозаика;
- отбор по яркости (минимальная или максимальная).

В большинстве случаев используется режим «мозаика». Иногда для целей последующей векторизации более правильное (хотя и менее четкое) изображение формируется в режиме усреднения. В отдельных случаях, например, при обработке ночной или тепловизионной съемки, лучших результатов можно достичь, отбирая только наиболее яркие участки исходных изображений [21].

Основная форма экспорта ортофото вызывается из главного меню: Файл → Экспорт ортофото → Экспорт JPEG, TIFF, PNG.

Интерфейс экспорта позволяет выбрать:

- систему координат;
- режим формирования изображения;
- размер или разрешение ортофотоплана;
- границы области экспорта.

Разрешение ортофотоплана и его размер (в пикселах) – взаимозависимые параметры, поэтому задать можно только один из них. При использовании программы в картографическом производстве более приоритетным параметром является разрешение. При открытии формы экспорта в полях «Размер пиксела» установлено значение, рассчитанное программой автоматически. Рекомендуется округлять его только в большую сторону. Уменьшать разрешение не рекомендуется, т.к. детализацию изображения это не повысит, а приведет только к увеличению времени формирования ортофотоплана и объема результирующих файлов [21].

В случае если выбрана географическая «градусная» СК, значения разрешения по долготе и по широте отличаются, т.к. приводятся к градусам. Кнопка Метры позволяет задать размер пиксела в метрах.

При больших размерах области съемки и высоком разрешении, размер итогового ортофотоплана может достигать сотен миллионов пикселей, а объем итоговых файлов – нескольких гигабайт. Кроме того, при экспорте в tiff-формате файлы больше 2 Гб экспортируются некорректно.

Чтобы избежать возможных проблем, PhotoScan позволяет разбить ортофотоплан на отдельные блоки. В изображенном выше примере установлен размер блоков 10×10 тыс. пикселей и разрешение 5 см/пикс, что дает размер участка, изображенного на каждом блоке 500×500 метров. Для того чтобы границы отдельных блоков соответствовали линиям координатной сетки, или для получения ортофотоплана не всей области съемки, а небольшого ее участка, можно воспользоваться опцией установки границ области экспорта [21].



Рисунок 10 – Ортофотоплан территории ФИЦ КНЦ СО РАН



Рисунок 11 – Искажение на ортофотоплане

После задания всех параметров нужно нажать кнопку «Экспорт», выбрать формат файлов – TIFF, JPEG или PNG и задать имя файла. При экспорте в tiff информация о привязке записывается непосредственно в сам файл (в формате GeoTiff). Для полученного ортофотоплана была выбрана проекция WGS 84 UTM, Zone 1 North. Пространственное разрешение составляет 5 см, разрешение 9720 x 16040 пикселей. На рисунке 10 представлен конечный продукт работы в ПО Agisoft Photoscan — ортофотоплан территории ФИЦ КНЦ СО РАН.

Стоит заметить, что на ортофотоплане имеются искажения. На рисунке 11 можно увидеть, как территория рядом со строящимся корпусом биофизики выглядит как некие завихрения. Это может быть связано с тем, что при построении разреженного облака точек стоит выбирать максимальную точность

чтобы избежать таких «артефактов». К сожалению вычислительная мощность используемого аппаратного обеспечения не предоставляет такой возможности.

4 Оцифровка ортофотоплана и создание фоновой подложки для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН

4.1 Этап оцифровки

Было решено выделить три основных группы объектов для векторизации: здания и сооружения, асфальтированные автомобильные дороги и подъезды к зданиям, пешеходные тропы и тротуар. Так же в дальнейшем еще были добавлены два дополнительных векторных слоя для обозначения наименования института, строения и почтовый адрес. Для оцифровки использовалась свободная кроссплатформенная геоинформационная система QGIS.

Для создания нового векторного слоя достаточно выполнить следующие действия: Слой → Создать слой → Создать shape-файл. Далее выбирается имя файла, проекция и тип геометрии. Так же можно добавить новые поля в атрибутивную таблицу. В таблице 2 указаны основные характеристики слоев.

Таблица 2 – Характеристики векторных слоев

Имя векторного слоя	Тип геометрии	Проекция	Поля
Buildings	Полигон	WGS 84 UTM zone 1N	NAME, NUMBER
Roads	Полигон	WGS 84 UTM zone 1N	—
Tracks	Полигон	WGS 84 UTM zone 1N	—
Centriod_number	Точка	WGS 84 UTM zone 1N	NUMBER
Centriod_name	Точка	WGS 84 UTM zone 1N	NAME

Для добавления объектов в основные слои Buildings, Roads и Tracks использовались инструменты оцифровки QGIS. Как ранее уже было замечено, квадрокоптеру не удалось снять здание Президиума КНЦ и территорию с юга от него. Для оцифровки дополнительной местности было решено использовать космическое изображение территории ФИЦ КНЦ СО РАН, взятое с ресурса Яндекс (рисунок 12). На рисунке 13 изображены построенные векторные слои.



Рисунок 12 – Изображение территории ФИЦ КНЦ СО РАН, взятое с ресурса Яндекс



Рисунок 13 – Оцифрованный ортофотоплан территории ФИЦ КНЦ СО РАН

После дополнительной оцифровки были заполнены поля атрибутивной таблицы. В слое Buildings, который отображает здания и строения у нас имеются два поля NAME и NUMBER содержащие наименования института, строения и почтовый адрес соответственно. После заполнения создавались дополнительные точечные слои Centriod_number и Centriod_name с помощью средств обработки геометрии QGIS. Это было нужно для того, чтобы при создании карты мы могли регулировать положения подписей зданий и почтового адреса, избегать их наложения, пересечения и других неблагоприятных факторов.

4.2 Создание подложки

Для создания подложки карты был использован снимок территории ФИЦ КНЦ СО РАН, взятый с ресурса Яндекс. Было решено провести классификацию с обучением используя программное обеспечение для работы с данными дистанционного зондирования ENVI.



Рисунок 14 – Растровая подложка для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН

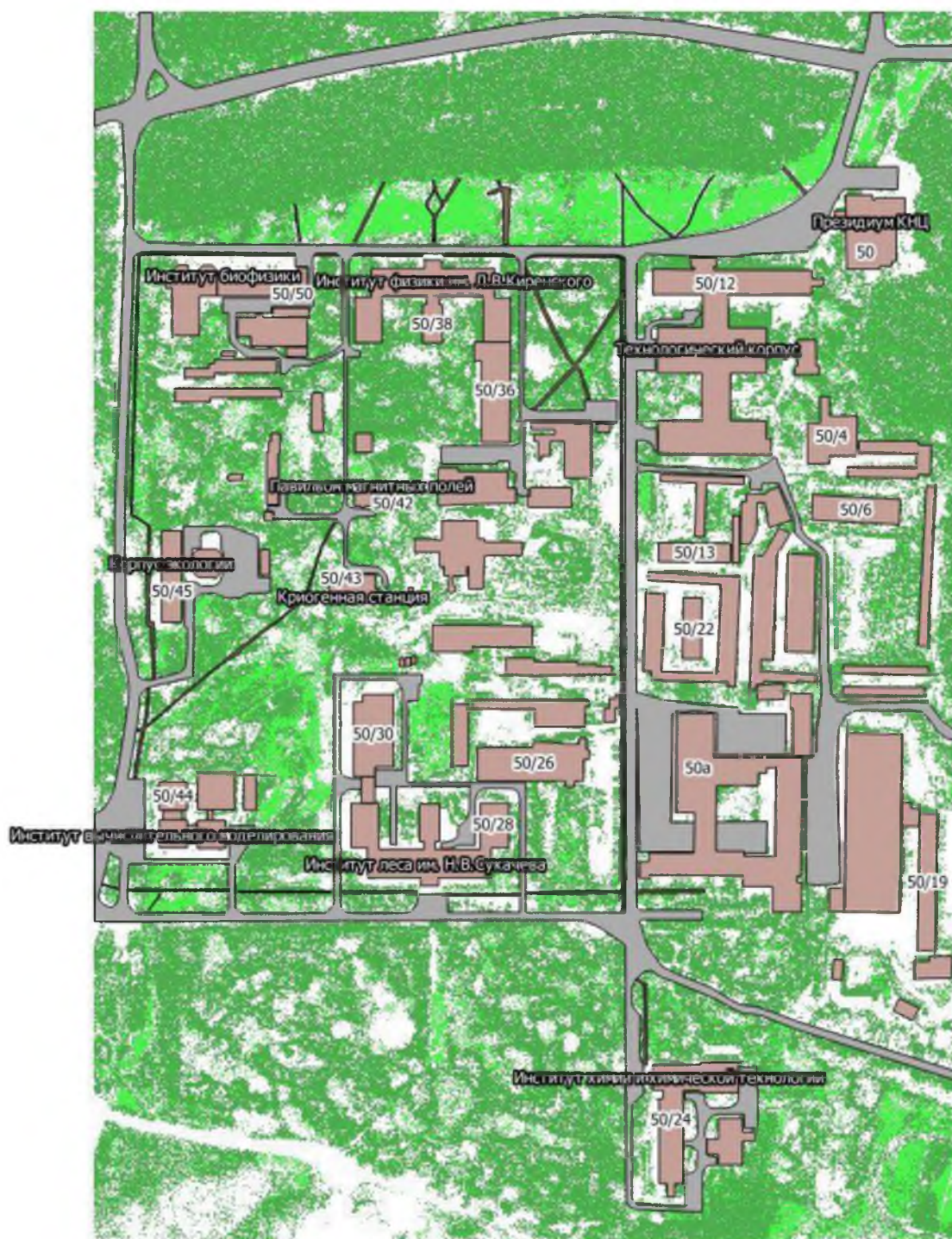


Рисунок 15 – Подписи, векторные слои и растровая подложка для карты территории ФИЦ КНЦ СО РАН

С помощью инструмента ENVI ROI Tool были выделены участки для классификации. Основной задачей было разделение лесных массивов вокруг научного центра и мелкой травы, и газонов. Всего было выделено 6 классов: мелкая трава, лес, здания, дорога, голая земля и теневые участки. После этого была проведена классификация методом максимального правдоподобия. Далее с помощью средств переклассификации классы, не соответствующие нужным типам растительности были удалены, а классы, удовлетворяющие условиям объединены или оставлены без изменения. Результат классификации и переклассификационных работ изображен на рисунке 14.

Далее были определены границы для конечной карты и произведена обрезка векторных слоев и растровой подложки по данным границам. Готовые для загрузки на геопортал векторные слои и растровая подложка показаны на рисунке 15.

5 Веб – публикация

Веб-публикация необходима для наглядного отображения всех векторных и растровых слоев, объединения их в единую карту и предоставления полученной карты в открытый доступ.

5.1 Публикация данных с помощью программного обеспечения ГеоЭкспресс

Для публикации данных на геопортал было использовано ПО ГеоЭкспресс, созданное в Институте вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМ СО РАН). ГеоЭкспресс представляет готовое программное решение для загрузки и регистрации векторных и растровых слоев на сервер геопортала. Она предлагает широкие возможности по редактированию стилей, проекций и других атрибутов слоя.

5.2 Регистрация слоев в программе ГеоЭкспресс

Для регистрации слоев в программе нужно загрузить их на внутренний сервер ИВМ СО РАН. После этого выбираем каталог куда мы хотим загрузить слой и используем: ПКМ → Новый слой → Выбираем нужный файл. Далее выбираем имя слоя, заголовок, тип геометрии, систему координат и тип метаданных.

5.3 Тематическое оформление (раскраска) слоя

ПО ГеоЭкспресс позволяет настраивать различные стилевые характеристики. При двойном щелчке на уже загруженном слое открывается вкладка где мы можем выбрать один из трех разделов:

- настройки слоя;
- масштабы и стили;
- просмотр слоя.

Настройки слоя позволяют менять имя, тип оформления и подложку для слоя.

Масштабы и стили руководят изменением масштаба (устанавливаются нижний и верхний предел для отображения слоя), условие для отображения, стиль, подписи и имя в легенде.

Раздел «Просмотр слоя» позволяет просматривать слой после всех изменений. На рисунке 16 представлен пример одного из разделов стилистической настройки.

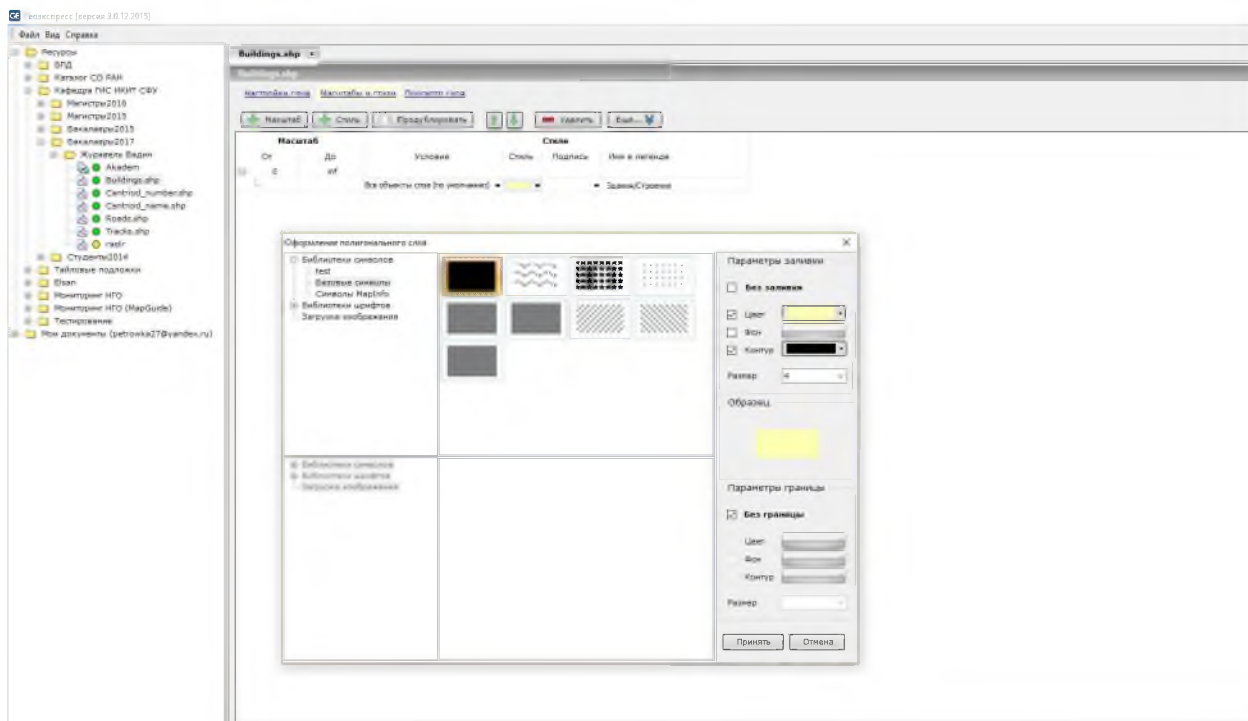


Рисунок 16 – Пример настройки стиля слоя в ПО ГеоЭкспресс

Стоит отметить, что здесь присутствует весь перечень настроек необходимый для качественного отображения слоя.

5.4 Создание карты в программе ГеоЭкспресс

Так же, как и для регистрации слоев в программе выбираем каталог где мы хотим создать карту и используем: ПКМ → Новая карта. Далее выбираем имя карты, заголовок, тип метаданных. Далее двойным щелчком по карте открываем вкладку с выбором разделов:

- настройка карты;
- слои;
- просмотр карты.

Настройки карты позволяют систему координат карты, установить экстенды начального и полного вида карты, тип метаданных и подложку из каталога базы ИВМ СО РАН.

В вкладке «Слои» представлен набор функций для объединения слоев в группы, занесения их в легенду, отображения на карте и прозрачности.

Раздел «Просмотр карты» позволяет просматривать карту после всех изменений.

Стоит заметить, что имя слоя в легенде карты настраивается не в самой карте, а в масштабах и стилях слоя. На рисунке 17 представлен пример отображения групп и слоев в карте.

В разделе «Просмотр карты» также есть инструмент настройки экстенгов начального и полного вида карты в виде графического помощника, с помощью которого можно легко настроить интересующий параметр.

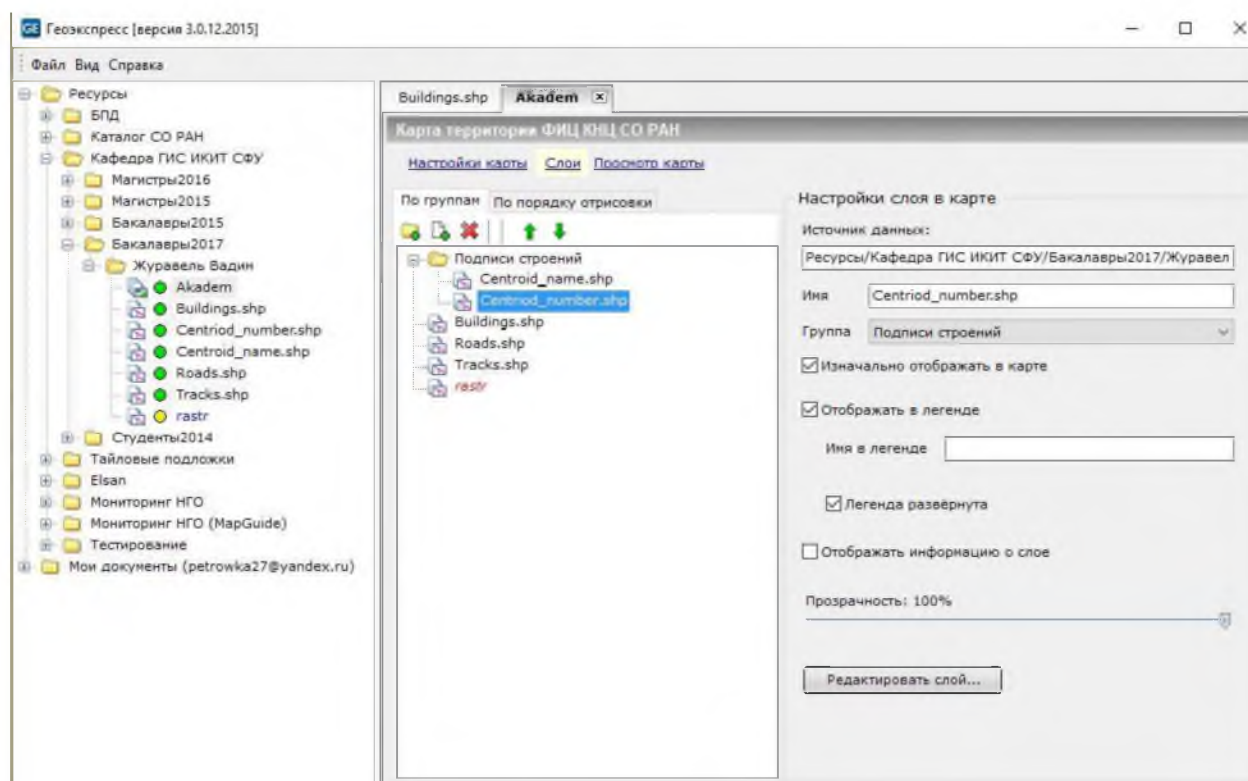


Рисунок 17 – Пример настройки слоев в карте в ПО ГеоЭкспресс

После всех настроек стилей и редактирования легенды добавлялась подложка карты. Геопортал имеет интерфейс, позволяющий редактировать xml файлы слоев и карт напрямую на сайте. Для того чтобы добавить растровую подложку в xml файле в тег Groups нужно добавить:

```
<Layer id="5" name="rastr" displayinmap="True" visibleinlegend="True"
expandedinlegend="True" legendlabel="Растительность" opacity="100"
queryable="False"/>
```

Также нужно добавить данные со статистически уникальным 128-битным идентификатором GUID:

```
<Layer name="rastr" sourceguid="3eb43d63-e0a9-0446-6014-bf6080049e44"
version="1.0">
```

```
<Group scalemin="0" scalemax="inf"> </Group>
```

```
</Layer>
```

После загрузки подложки и стилевых редактирований получается готовая карта (рисунок 18).



Рисунок 18 – Тематическая карта территории ФИЦ СО РАН

На рисунке представлена завершенная карта территории Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» с наименованиями институтов и

строений, почтовыми адресами, отображением зданий, проезжей части, пеших троп и тротуаров, и растительности, выложенная на геопортал Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель данной работы заключалась в картографическом обеспечении задач управления инженерной инфраструктурой ФИЦ КНЦ СО РАН.

Исходными данными для работы являлись 255 снимков территории ФИЦ КНЦ СО РАН, полученных с квадрокоптера и космическое изображение той же территории, полученное с ресурса Яндекс.

Все задачи для достижения данной цели были выполнены, а именно:

- изучено программное обеспечение Agisoft PhotoScan, в котором с помощью специализированных инструментов был построен ортофотоплан территории ФИЦ КНЦ СО РАН;

- изучены инструменты оцифровки, инструменты работы с растровыми и векторными данными (обрезка, склеивание, создание новых shape-файлов) в программе QGIS с помощью которых была проведена оцифровка ортофотоплана и созданы дополнительные слои для подписи объектов;

- в программе QGIS проведена оцифровка космического изображения территории ФИЦ КНЦ СО РАН, полученного с ресурса Яндекс;

- изучено программное обеспечение для работы с данными дистанционного зондирования ENVI, в котором с помощью средств классификации была создана растровая подложка для тематической карты;

- изучены инструменты стилизации, регистрации слоев на геопортале ИВМ СО РАН, создания карт, масштабирования в программном обеспечении ГеоЭкспресс;

- изучены средства работы с данными через веб-сайт геопортала ИВМ СО РАН.

Основным результатом работы является карта территории ФИЦ СО РАН.

При дальнейшем развитии геопространственной базы данных ELSAN планируется её пополнение поэтажными планами с инженерной инфраструктурой всех институтов входящих в состав ФИЦ КНЦ СО РАН. После

этого тематическая карта территории может быть использована для отображения всей инженерной инфраструктуры исследовательского центра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кормщикова, М.Ю. Тематические геопорталы – оптимальный инструмент для анализа и управления пространственными данными при решении отраслевых задач / М.Ю. Кормщикова // Геоматика. – 2009. – №2. – С. 90-94.
2. Roma, A. Drones and popularisation of space/ A. Roma // Space Policy. – 2017.
3. Никитин, В.Н. Опыт построения ортофотоплана по данным крупномасштабной аэрофотосъемки, выполненной с использованием неметрической цифровой камеры / В.Н. Никитин, А.В. Семенов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – Т. 4. – № 1. – С. 12-16.
4. Булавицкий, В.Ф. Применение беспилотных летательных аппаратов для оперативного получения аэрофотоснимков местности / В.Ф. Булавицкий // Ученые заметки ТОГУ. – 2013. – Т. 4. – № 4. – С. 1747-1755.
5. Дворецкий, Е.М. Сравнительный анализ создания цифрового ортофотоплана с использованием программного комплекса Agisoft Photoscan и цифровой фотограмметрической станции Фотомод / Е.М. Дворецкий [и др.] // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – 2013. – № 639. – С. 124-128.
6. ФИЦ КНЦ СО РАН | Сибирское отделение Российской академии наук (СО РАН) [Электронный ресурс]: Институты ФИЦ КНЦ СО РАН. – Режим доступа: <https://www.sbras.ru/ru/organization/2138>
7. Краскомпас [Электронный ресурс]: Академгородок. – Режим доступа: <http://www.kraskompas.ru/doma-i-ulitsy/orientiry-krasnoyarska/item/1070-akademgorodok.html>
8. Google Maps [Электронный ресурс]: Google Maps Help. – Режим доступа: <https://support.google.com/maps/?hl=en#topic=3092425>

9. Яндекс [Электронный ресурс]: О Яндекс.Картах. – Режим доступа: <https://yandex.ru/support/maps/index.html>
10. OpenStreetMap [Электронный ресурс]: О OpenStreetMap. – Режим доступа: <http://www.openstreetmap.org/about>
11. 2ГИС [Электронный ресурс]: Помощник 2ГИС. – Режим доступа: <https://help.2gis.ru/>
12. Вики-фотограмметрия [Электронный ресурс]: Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 1). – Режим доступа: [http://www.racurs.ru/wiki/index.php/Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования \(часть 1\)](http://www.racurs.ru/wiki/index.php/Беспилотные_летательные_аппараты:_применение_в_целях_аэрофотосъемки_для_картографирования_(часть_1))
13. Зинченко, О.Н. Беспилотный летательный аппарат: Применение в целях аэрофотосъемки для картографирования / О.Н. Зинченко // Ракурс. – 2011. – С. 1-12.
14. Михаилиди, И.М. Применение web-технологий для создания распределённых ГИС / И.М. Михаилиди // Известия Алтайского Государственного Университета. – 2002. – №1. – С. 89-91.
15. Геоинформатика: учеб. для студ. вузов / Е.Г.Капралов, ГЗ5 А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.; Под ред. В. С.Тикунова. – М: Издательский центр «Академия», 2005. – С. 158-161.
16. Кацко, С.Ю. Классификация и принципы работы геоинформационных web-серверов в интернет-системе «клиент-сервер» / С.Ю. Кацко // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2006.
17. Геоинформационный портал ГИС-Ассоциации [Электронный ресурс]: «Совзонд» Использование программного комплекса ENVI для решения прикладных задач. – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/37239.html>
18. ТГТУ Отдел ГИС технологий [Электронный ресурс]: Возможности Quantum GIS. – Режим доступа: <http://gis.web.tstu.ru/vozmogquantum.html>

19. Agisoft PhotoScan. [Электронный ресурс]: Производительная, эффективная и удобная программа для фотограмметрической обработки снимков. – Режим доступа: <https://www.geoscan.aero/ru/photoscan/#about>
20. Геопортал ИВМ СО РАН [Электронный ресурс]: Справка по геопорталу. – Режим доступа: <http://gis.krasn.ru/blog/help-center/geoportal-help>
21. Geoscan [Электронный ресурс]: Блог ГК Геоскан. – Режим доступа: <https://www.geoscan.aero/ru/blog/64/>
22. Академик [Электронный ресурс]: Ортофотоплан. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/116962/Ортофотоплан>