

**Удмуртская Республика
Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение
Удмуртской Республики лицей № 41**

**Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды
имени Б.В.Всесвятского**

Номинация «Геоинформатика»

Исследовательская работа

**«Создание БПЛА самолётного типа для изучения мест
распространения золотарника канадского на основе
аэрофотосъёмки»**

Выполнил: Щепин Александр Михайлович,
ученик 10 а класса ГБОУ УР «Лицей 41» г. Ижевска

Научные руководители:
Малькова Ирина Леонидовна,
преподаватель олимпиадной экологии
ГБОУ УР «Лицей 41»,
к.г.н., доцент ФГБОУ ВО «УдГУ»
Китова Елена Анатольевна
учитель биологии ГБОУ УР «Лицей 41»

Ижевск, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Специфические особенности распространения золотарника канадского.....	4
Глава 2. Оценка возможностей использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния окружающей среды.....	7
Глава 3. Этапы конструирования авторской модели БПЛА.....	9
Глава 4. Применение методов дистанционного зондирования территорий для оценки площади расселения инвазивных видов на территории Удмуртской Республики (на примере Золотарника канадского)»	13
Глава 5. Составление программы аэрофотосъемки мест произрастания золотарника канадского в окрестностях г.Ижевска.....	19
Заключение.....	21
Список источников информации.....	23
Приложение.....	27

ВВЕДЕНИЕ

Для разработки мероприятий по борьбе с инвазивными видами растений требуются целенаправленные исследования, как по инвентаризации всех мест его произрастания, так и по установлению закономерностей его внедрения на новые территории. В пределах европейской части России, в том числе и на территории Удмуртской Республики, одним из наиболее агрессивных видов является золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.). Изучению биологических и экологических особенностей этого растения, имеющего высокую инвазивную активность, посвящено несколько работ специалистов Удмуртского госуниверситета [2, 3, 8, 9, 20]. Выявление очагов его распространения осуществляется либо детально-маршрутным методом [2, 3], что весьма трудоемко и затратно по времени. Либо встречаемость золотарника оценивается бальным методом в пределах административных районов, что не отражает реальных границ его распространения.

Мы считаем, что для обнаружения новых мест произрастания, мониторинга состояния ранее выявленных местонахождений и изучения динамики расселения золотарника канадского наиболее эффективным методом будет аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Исходя из этого **целью** данной исследовательской работы является оценка возможностей использования беспилотников для выявления мест произрастания золотарника канадского.

Для первого этапа работы были поставлены следующие **задачи**:

- изучение опыта использования БПЛА для мониторинга состояния окружающей среды;
- моделирование и изготовление нескольких моделей беспилотников для сравнительной оценки их эффективности дальнейшего использования;
- анализ работ по особенностям распространения золотарника канадского на территории Удмуртской Республики и г.Ижевска;
- выбор территории обследования, и составление программы аэрофотосъемки мест произрастания золотарника канадского.

Зная особенности работы БПЛА, мы предполагаем, что их использование в целях мониторинга распространения золотарника будет более эффективным в сравнении с квадрокоптерами. Выбор золотарника в качестве объекта аэрофотосъемки обусловлен тем, что в период массового цветения ярко-желтые скопления будут хорошо видны с воздуха.

Автор благодарит Николаева Дмитрия Викторовича за помощь в создании и тестировании моделей БПЛА.

Глава 1. Специфические особенности распространения золотарника канадского

Золотарник как декоративное растение был завезен в Европу в 18 веке. Это инвазивный вид, который отлично акклиматизировался в условиях Европы, оказывая существенное давление на аборигенные виды, вытесняя их из фитоценозов. Все виды золотарников включены в «Список инвазионных видов ЕРРО» (European and Mediterranean Plant Protection Organization — европейская организация по защите растений), где перечислены чужеродные виды, наносящие серьезный ущерб аборигенным растениям, окружающей среде и биологическому разнообразию в целом.

Золотарник поселяется чаще всего в луговых и пойменных лугах, что приводит к изменению состава и структуры сенокосных угодий, значительно ухудшается качество заготавливаемого сена, меняется структура и процесс аэрации почв. Золотарник является опасным сорным растением, затрудняя произрастание сельскохозяйственных культур и кормовых трав, нарушая структуру посева и снижая их урожайность. Золотарник вредит популяциям многих редких и исчезающих видов растений.

Предполагается, что золотарник канадский является возбудителем сенной лихорадки, может способствовать развитию заболеваний зерновых культур, плохо поедается домашними животными, вырабатывает вещества, которые подавляют рост других растений. К тому же, пыльца золотарников опасна для некоторых людей, поскольку способна проявлять аллергенные свойства.

В ряде работ [10, 11] указаны экологические особенности, которые позволяют золотарникам быстро размножаться и сохраняться как виду. Из таких особенностей можно выделить следующие:

- высокая конкурентоспособность, быстрый рост, способность расти скученно и вытеснять другие растения;
- высокая плодовитость, позволяющая одному растению инициировать биологическую инвазию. На одном растении ежегодно образуется 5-20 тыс. семян с высокой всхожестью, скорость экспансии золотарника достигает несколько десятков гектаров в год;
- очень высокий процент прорастающих семян, независимо от того, где эти семена вызрели;
- выраженные аллелопатические свойства (корни золотарника вырабатывают ингибиторы – вещества, которые подавляют рост других растений);
- распространение семян на большие расстояния с помощью ветра;
- отсутствие серьезных естественных врагов из числа растений-конкурентов и насекомых.

По данным польских исследователей золотарник канадский покрывает новый участок на 25-50% через 3-4 года, на 75-100% — через 6-8 лет (Skrajna et al., 2012).

В «Черных книгах» флоры Европейской России и Сибири золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.) входит в число наиболее активных инвазионных видов и для многих регионов является видом-трансформером. Наибольшее распространение характерно для умеренной полосы Европейской части России, в меньшей степени на Урале, в Сибири и Дальнем Востоке (рис. 1).

В Удмуртии золотарник канадский в «одичавшем виде» впервые был обнаружен в 1963 г на насыпи узкоколейной железной дороги в окрестностях города Ижевска [Ефимова, 1963]. В Черной Книге флоры Удмуртии присвоен статус 2 – «виды, частично меняющие естественные, полуестественные и нарушенные фитоценозы, не приводящие к полному изменению состава биогеоценоза, но продолжающие активное расселение» [19, 20]. В работах Колдомовой Е. А. [8, 9] указано, что на данный момент данное растение встречается в 15 из 25 административных районов Удмуртской Республики. По числу находок первое место занимает территория города Ижевска (42% от числа находок). Наиболее крупные скопления золотарника наблюдаются в Индустриальном и Устиновском районах, что составляет 55,5% от всех выявленных мест произрастания (рис. 2). Растение произрастает преимущественно в местообитаниях с сильно измененной человеком растительностью, а также внедряется в полуестественные местообитания, становясь при этом доминантом.

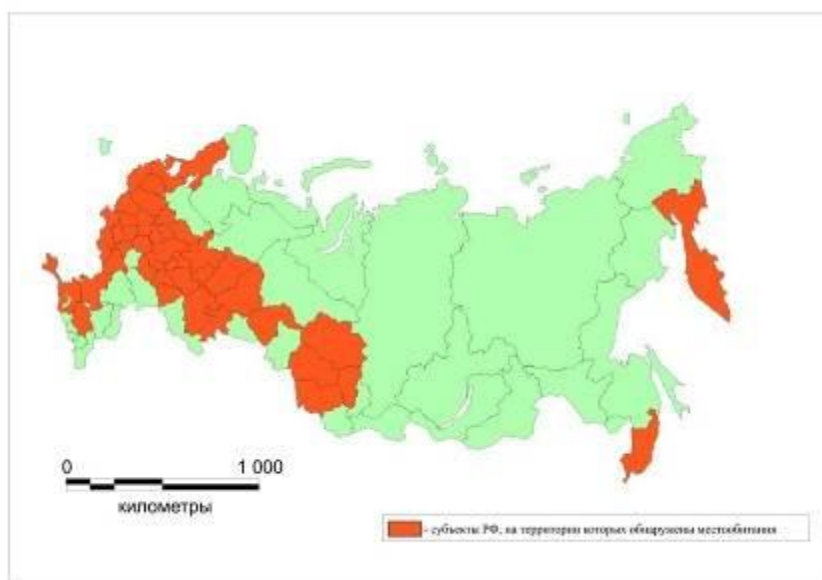


Рис. 1. Распространение золотарника канадского на территории РФ.

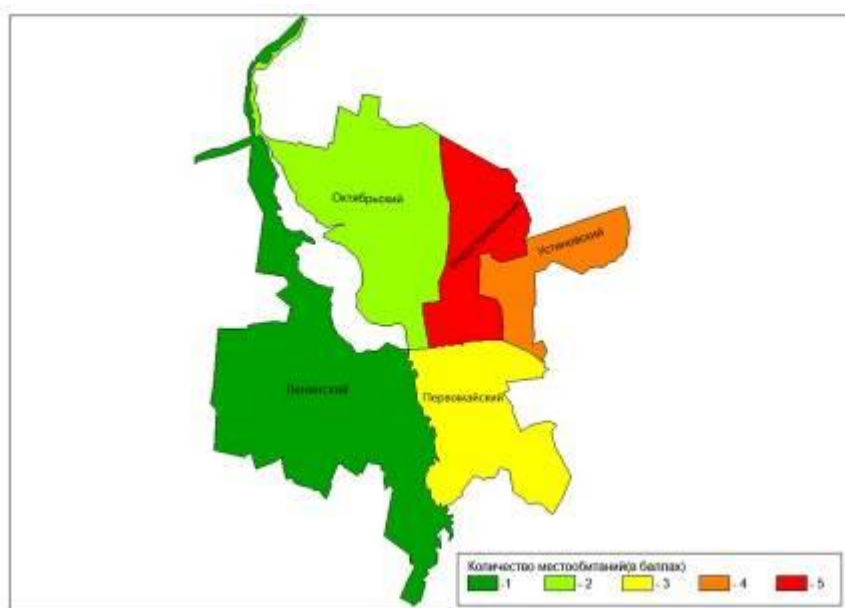


Рис.3. Картограмма встречаемости золотарника канадского на территории административных районов Ижевска.

Глава 2. Оценка возможностей использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния окружающей среды

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят свое применение в различных сферах современной жизни. Подобного рода авиационные системы применяются везде, где необходим обзор местности и мониторинг объектов с воздуха. Аэрофотосъемка — классический пример использования беспилотника. Применение БПЛА позволяет собрать детальную информацию об объекте и территории исследований, обработать и проанализировать данные, используя программное обеспечение.

Беспилотный летательный аппарат является универсальным и очень эффективным средством для получения данных состояния атмосферы, почвы, воды, в том числе, и в труднодоступных участках. Аппараты мини и легкого класса способны нести необходимый комплект оборудования массой до 5 кг и обладают радиусом действия до 30-50 км, что позволяет контролировать одному аппарату с периодическим облетом территорию площадью до 3000 кв. км. БПЛА могут выполнять задачи на предельно малых высотах и на малой скорости. Они имеют явное преимущество перед пилотируемыми системами в ситуациях, когда требуется оперативность. Сокращение общего времени реагирования (до нескольких минут) связано с тем, что не требуется развертывания обеспечивающих средств, которые необходимы при применении пилотируемой авиации.

В ближайшем будущем основными потребителями гражданской беспилотной продукции в мире станет сельское и лесное хозяйство - к такому выводу пришли исследователи американской Международной некоммерческой организации «Ассоциация беспилотных транспортных систем» (AUVSI). Также беспилотные цифровые технологии хорошо зарекомендовали себя для получения высокоточных и объективных данных о состоянии окружающей среды в крупных городах и районах, находящихся рядом с промышленными объектами, при чрезвычайных ситуациях. Дистанционные методы исследования с помощью БПЛА помогают провести оценку экологического состояния удаленных и труднодоступных территорий. Например, лаборатория дронов BRLAB разработала многоцелевой БПЛА мультикоптерного типа (полётная платформа DJI Matrice 300 RTK) с установленным газоанализатором Sniffer4D V2.0, сменными модулями для обнаружения различных газов и программным обеспечением (<https://brlab.ru/scopes/monitoring-okruzhayushchey-sredy/>).

Сравнительный анализ существующих БПЛА, используемых для мониторинга состояния окружающей среды, показал следующее.

Квадрокоптеры широко распространены и применяются для решения различных задач. Основным преимуществом является возможность зависать на одном месте и удерживать свою позицию. К недостаткам можно отнести большое энергопотребление, вследствие чего, ограниченное время и дальность

полёта.

Аэростатические БПЛА имеют оболочку, заполненную газом или нагретым воздухом, для создания подъёмной силы (силы Архимеда). Используются для долгосрочного наблюдения, связи, метеорологии и других задач. Имеют большую продолжительность полета на протяжении нескольких дней или недель, а также высокую грузоподъёмность. Главным недостатком является ограниченное противостояние воздушным потокам (постоянный дрейф по ветру), низкая скорость, невозможность постоянного нахождения над заданным районом.

БПЛА самолётного типа (с фиксированным крылом) способны летать благодаря подъёмной силе, создаваемой аэродинамической формой крыла при движении вперёд с определённой скоростью, развитие которой достигается различными способами. Имеют большую высоту, скорость и продолжительность полета. Легко противостоят встречным воздушным потокам. Имеют высокую грузоподъёмность и возможность постоянно барражировать над заданным районом.

Вывод: для решения поставленных задач подходит БПЛА самолётного типа. При оснащении соответствующими датчиками (подвесным оборудованием) и программным обеспечением спектр областей применения БПЛА для мониторинга экологической безопасности очень широк:

- контроль промышленных объектов и территорий рядом с предприятиями.
- обнаружение несанкционированных и незаконных свалок.
- контроль метеобстановки.
- анализ газового состава воздуха.
- оперативная инспекция окружающей среды при ЧС и техногенных катастрофах.
- проверка состояния лесных территорий и водоемов.
- обнаружение браконьеров, незаконных вырубок леса и др.

Глава 3. Этапы конструирования авторской модели БПЛА

Проведя сравнительный анализ существующих летательных аппаратов, я пришёл к выводу, что самым оптимальным вариантом для выполнения поставленной задачи будет управляемый планер самолётно-го типа с электродвигателями и солнечными батареями на крыльях и фюзеляже. Дальнейшая детальная проработка носителя летающей лаборатории выявила ряд задач, для решения которых необходимо провести расчёты по грузоподъёмности, энергообеспеченности, лётным характеристикам и системам связи.

Используя накопленный мною опыт постройки БПЛА и результаты тестирования действующих моделей на соревнованиях по планеризму, я выяснил, что лучшим материалом для корпуса фюзеляжа и крыльев является углепластик (карбон). В асинхронные электродвигатели я предполагаю установить тербий кобальтовые магниты, которые в 7 раз мощнее используемых неодимовых магнитов. Внутренний полётный контроллер с внешней связью с сервером командного центра, который отслеживает метеобстановку в районе полёта и корректирует курс. Для длительного нахождения в воздухе используются подзаряжаемые от солнечных батарей литий полимерные аккумуляторы. Схема самолёта использует крыло с V образно расположенными законцовками, для максимальной стабилизации и ветроустойчивости в изменяющемся воздушном потоке. Полётный контроллер установленный на планере выполняет роль навигатора для движения по заданному маршруту, также он позволяет успешно применять восходящие потоки для длительного планирования над определённой территорией.

Основной целью было создание лёгкой, прочной и грузоподъёмной модели беспилотника, способной длительное время находиться в воздухе и вести измерения с помощью установленных приборов. Прежде всего, необходимо было определиться с параметрами конструкции. Учитывая то, что я создаю прототип, и мы будем устанавливать не все приборы, решено выбрать среднюю полётную массу – 1500 г.

Для обеспечения достаточной подъёмной силы, стабильного полёта на средних скоростях, обеспечения устойчивости при порывах ветра и увеличения времени планирования, я выбрал схему включающую в себя крыло, фюзеляж, хвостовое оперение.

Конструкция планера состоит из центроплана, ширина которого 1000 мм с хордой 200 мм, и двух стабилизирующих плоскостей, расположенных под углом 150 градусов к центроплану. Стабилизирующие плоскости имеющие в месте стыка с центропланом хорду 200 мм, которая идёт на сужение на протяжении 500 мм и достигает 150 мм на конце крыла. Данная конструкция позволяет планеру выравниваться в полёте без дополнительных затрат энергии, благодаря разностям подъёмной силы, которая возникает под стабилизирующими плоскостями. Это приводит к стабилизации и

горизонтальному полёту. Я использовал профиль Clark Y для крыла самолёта, поскольку он позволяет планеру противостоять ветру, набирать высокую скорость, противостоять сваливанию, а также использовать восходящие потоки для увеличения продолжительности полета. Общий размах крыла 2 м, оно наборное. Сборка крыла велась без стапеля, благодаря особенности профиля у которого плоская нижняя часть. Крыло состоит из нервюр, соединённых центральным лонжероном и рейками жёсткости. Крыло обтянуто плёнкой, передняя кромка усилена пластиной из бальзы. Для управления используются элероны, прикреплённые на специальные шарниры к стабилизирующим плоскостям. Движение элеронов происходит благодаря двум сервоприводам, установленным в плоскости крыла. Крепление крыла к фюзеляжу осуществляется в специально подготовленном месте, за счёт язычка спереди и винтового соединения сзади.

Все необходимое оборудование размещается в фюзеляже. Для уменьшения лобового сопротивления решено было сделать фюзеляж каплевидной формы. Исходя из полетной массы 1500 гр для обеспечения необходимых летных характеристик планера, мною были выбраны следующие комплектующие:

- асинхронный двигатель dys размеры статора и ротора -35*36мм характеристика двигателя-1450 оборотов на вольт, с тяговым усилием 2,5 кг 2000 Р
- пропеллер D 229мм складной 700 Р
- Цанга вала для складных пропеллеров 600 Р
- регулятор оборотов для двигателя dys I- 40А 1300 Р
- литий-полимерный аккумулятор 12,6 вольт 3.5Ah , 2200Р
- сервоприводы mg90 с тяговым усилием 2 кг, 300Р
- Полётный контроллер Pixracer R15 Autopilot 11000Р который позволяет программировать траекторию полета над заданным районом, обеспечивать управление в режиме автопилота
- модуля телеметрии RFD900 + наземный модуль 5000Р
- модуль GPS 2500Р
- Преобразователь питания АРМ2.6 900Р
- приёмник tbs 1500Р
- пульт радио управления radiomaster tx12 с модулем tbs обеспечивающим дальность связи 20 км 10000Р
- Конструктивные, элементы фюзеляжа и крыльев выполнены с использованием композитных материалов. 12000Р

Общая стоимость всего оборудования для самолёта 50 000Р

Фюзеляж изготовлен из бальзы, реек и рёбер жёсткости наборным способом. Для всех компонентов внутри сделаны места крепления из поперечных пластин, которые являются дополнительными ребрами жесткости. Учитывая схему планера с передним, тянущим расположением мотора, я решил удлинить отсек для аккумулятора и расположить крыло прямо за ним.

В модели планера центр тяжести должен находиться на расстоянии 38-40% от начала хорды крыла, что в моем случае составляет диапазон в 4 мм. Любое смещение центра тяжести приходится компенсировать, и если переднюю центровку ещё можно уравновесить лишь добавлением небольшого груза на хвост (благодаря свойствам рычага), то чтобы уравновесить заднюю центровку, необходимо применять значительные грузы (по тем же свойствам рычага), а это может привести к серьёзному увеличению веса модели. Поэтому в фюзеляж я перенес сервоприводы для управления хвостовым оперением, тяги от которых будут проходить через хвостовую балку и управлять рулём высоты и рулём направления соответственно.

Вся сборка фюзеляжа и хвостовой балки велась поэтапно на стапеле. Только так можно избежать отклонений хвостового оперения относительно центральной оси планера. Хвостовая балка сделана из карбона и закреплена в рёбра жёсткости в фюзеляже, также усилена дополнительными вставками из бальзы. Управление рулём направления и рулём высоты производится от сервоприводов установленных в фюзеляже. Передача усилия происходит с помощью длинных тяг, проходящих внутри карбоновой трубки. Для обеспечения максимальной точности управления, мною проведены работы по калибровке сервоприводов. Все сервоприводы проверены мною на осциллографе и для них подобраны стабилизирующие питание конденсаторы, за счет этого устраняются неточности в управлении сервоприводами.

Киль и стабилизатор изготовлены наборным способом. Соединительные элементы выполнены из бальзы, а снаружи обклеены пленкой. Стабилизатор имеет скосы, идущие на сужение от центра к краю, а сзади на специальные шарниры прикреплен руль высоты, имеющий кабанчик для крепления тяги. В нижней части хвостовой балки стоит костыль для защиты тяги руля высоты при приземлении. Сверху, перпендикулярно стабилизатору, установлен киль с рулём направления. Хвостовое оперение отвечает за основное управление планером. Руль высоты отвечает за тангаж, руль направления за поворот и рысканье, элероны установленные на крыле за крен. Фотоматериалы, отражающие отдельные этапы создания модели беспилотника, представлены в Приложении 1.

Для оборудования летающей лаборатории выделены специальные места с выводами под датчики. Для видеокамеры предусмотрено крепление с фиксированными регулировками. Постоянная видеосъемка заданного района в разных спектрах позволит создать карту для определения очагов распространения золотарника обыкновенного.

Для съемки земной поверхности с авиационных аппаратов используются: видимый диапазон 0,4-0,8 мкм ближний инфракрасный диапазон 0,8-1,5 мкм; тепловой инфракрасный диапазон 3,5-5 и 8,0-14 мкм сверхвысокочастотный радиодиапазон 0,3-100 см.

Растениями в видимом диапазоне волн происходит сильное поглощение энергии (до 98%). Лишь 2-3% отражается от листьев. В оптическом диапазоне спектра растения имеют 2 участка минимума спектральной яркости: в синем

(0,45-0,47 мкм), в красном (0,68-0,69 мкм). И 2 участка максимума спектральной яркости: в зеленом (0,54-0,58 мкм), в ближнем инфракрасном (0,7-1,3 мкм).

Проанализировав оборудование, для предполагаемых исследований, я пришел к выводу, что на данном этапе оптимально использовать камеру с мультиспектральным объективом, которая хорошо подходит для мониторинга сельскохозяйственных угодий. Для точного определения очагов распространения золотарника я буду использовать камеру TOPODRONE P61 совместно с объективами с фокусным расстоянием с 18 или 24 мм, что позволяет покрывать более 1 кв. км за один полет с высоты 120 метров. Пример мониторинга сельскохозяйственных угодий камерой TOPODRONE P61 с мультиспектральным объективом представлен в Приложении 2.

Для высокоточной фотограмметрической обработки данных аэрофотосъемки необходимо скопировать снимки и ГНСС данные в одну папку, запустить ПО TOPODRONE Post Processing (TPP), добавить их в программное обеспечение совместно с файлом rinex базовой станцией и нажать кнопку Старт. ПО TPP выполнит автоматическую постобработку ГНСС измерений и добавит высокоточные координаты в EXIF теги RGB или мультиспектральных изображений. После этого необходимо добавить снимки в любое фотограмметрическое программное обеспечение: Metashape, PIX4Dmapper, 3Dsurvey, и выполнить автоматическую аэротриангуляцию. В результате мы получим блок геопривязанных изображений с точностью 2-5 см в плане и по высоте. Следующим шагом строится высокоточная трехмерная модель местности и ортофото в RGB и мультиспектральных диапазонах. Пример создания модели представлен в Приложении 3.

Глава 4. Применение методов дистанционного зондирования территорий для оценки площади расселения инвазивных видов на территории Удмуртской Республики (на примере Золотарника канадского)

4.1. Применение методов дистанционного зондирования территорий с помощью высокоточных снимков со спутников Landsat

В двадцать первом веке с развитием компьютерных технологий дистанционное зондирование Земли (далее - ДЗЗ) играет огромную роль не только в картографических науках, но и в области охраны окружающей среды (далее - ООС). Карты полученные с помощью космических снимков уже давно перестали **использоваться только для ориентирования на местности** Благодаря большому объему информации, получаемой с многочисленных спутников, человечество научилось прогнозировать дальнейший ход развития биосферы, учитывая многие факторы, например, негативное антропогенное воздействие промышленных процессов на окружающую среду (далее - ОС); оценивать реальную картину изменения ландшафтов, уровня загрязнения местности, водных объектов, площади распространения инвазивных видов и другое.

Скажу пару слов о системе Landsat которую мы будем использовать в нашей работе. Первый орбитальный спутник был запущен в США 23 июля 1972 года и имел название EarthResourcesTechnologySatellite, позже переименованный в Landsat, который стал собирать информацию о земной поверхности. На данный момент на орбиту Земли выводится по одному спутнику с расчетным периодом функционирования несколько лет. За 16 суток спутник может покрыть сканерной многозональной съёмкой всю планету Накапливая информацию об изменениях земной поверхности Земли. в течение более 40 лет эта информация собиралась и сейчас, программа Landsat предоставила целостную информацию о продовольствии, лесах, воде в мире и о том, как эти и другие ресурсы используются человечеством [24].

В свою очередь в Российской Федерации с каждым годом возрастает общемировая тенденция применения дистанционных методов для исследования и охраны окружающей среды. Это по большей части связано с увеличением роста производства БПЛА и запуском усовершенствованных космических аппаратов на орбиту нашей планеты. В свою очередь роль дистанционных методов исследования Земли в последние десятилетия занимает одну из лидирующих позиций в таких регионах страны как Западная и Восточная Сибирь. Это объясняется тем, что именно в этих районах наибольшая потребность в исследованиях дистанционного характера, так как затруднен или невозможен выезд на исследуемую территорию из-за погодных условий либо площадь, исследуемого участка, велика и её нет возможности изучать детально в полевых условиях.

4.2. Рассмотрение методики.

Операции по предварительной и тематической обработке выполнялись в программном комплексе ENVI 5.2. К предварительной обработке относятся следующие операции: радиометрическая калибровка, атмосферная коррекция, создание масок при необходимости и улучшение яркостных преобразований, то есть контрастирование, синтезирование, построение разновременных композитов. К тематической обработке данных ДЗЗ относятся операции визуального и автоматизированного дешифрирования космических снимков. Для прослеживания динамики пользуются визуальным дешифрированием синтезированных снимков и разновременных композитов, по которым хорошо определяются контуры лесных вырубок, гарей и дымовых шлейфов, пахотных земель, карьеров, сетей дорог, населенных пунктов [25].

Наиболее заметные изменения происходят в физиономических и динамических компонентах ландшафта, в первую очередь растительный покров. Поэтому для целей геоинформационного моделирования выделяются 2 ветви спектральной обработки космических снимков для автоматизированного дешифрирования растительности и послойной векторизации всех классов изменений NDVI и типов поверхностей готовых векторных слоев для экспорта в ГИС MapInfo Professional и последующей геоинформационной обработки и созданию базы данных (БД) ЛЭК АВ на ООПТ.

4.3. План проведения исследования

При исследовании ареалов произрастания золотарника канадского взяты космические снимки программы Landsat 8 территории Удмуртской Республики. Для эффективного анализа территорий произрастания золотарника канадского будем использовать индекс NDVI. То-есть для облёта обследуемых участков территорий, будут убраны зоны жилой застройки, участки вспаханной земли, а также автомобильные дороги.

Это позволит сократить время, повысит точность и качество исследования на предмет обнаружения Золотарника канадского в заданном квадрате.

4.4. Характеристика сочетания спектров

Поговорим о истории наиболее значимого для нашего проекта спутника из линейки Landsat. Запуск спутника дистанционного зондирования Земли LDCM — LandsatDataContinuityMission — был произведен 11 февраля 2013 года. После запуска космический аппарат получил название Landsat - 8. На этом космическом аппарате установлены два сенсора: оптико-электронный (Operational Land Imager, OLI) и тепловой (Thermal Infra-Red Sensor, TIRS) (Табл. 1). [26, 27]

Канал 1 чувствителен к тёмно-синим и фиолетовым цветам. Синий цвет трудно различать из космоса, так как он рассеивается на всех мелкодисперсных вкраплениях а также на самих молекулах воздуха. Этот диапазон также называется побережным или аэрозольным [28].

Каналы 2, 3 и 4 представляют собой видимые синий, зелёный и красный диапазоны.

Канал 5 измеряет ближний инфракрасный спектр. Он особенно важен для экологов, поскольку листья здоровых растений имеют высокий коэффициент отражения в этой части спектра. Данные с этого канала в сочетании с другими каналами используются для расчёта различных вегетационных индексов, например, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный вегетационный индекс) [29]. Индексы данной группы позволяют проводить классификацию растительности и оценивать её состояние [30].

Каналы 6 и 7 покрывают разные участки коротковолнового инфракрасного диапазона. Они дают возможность отличить влажную землю от сухой, а также скалы и почвы [31], которые плохо различимы в других диапазонах, но хорошо – в инфракрасной области спектра [32,33].

Канал 8 – панхроматический. Он воспринимает больше света и даёт самую чёткую картинку среди всех диапазонов. Его разрешение составляет 15 метров [32,33].

Канал 9 – покрывает очень узкую полосу длин волн – 30 нанометров [34]. Немногие из космических инструментов регистрируют эту область спектра, так как она почти полностью поглощается атмосферой. Поскольку земля в этом диапазоне едва различима, значит всё, что в нём ярко видно, либо отражает очень хорошо, либо находится вне атмосферы. В 9-м канале видны только облака, которые представляют реальную проблему для спутниковых снимков, так как из-за размытых краёв плохо различимы в обычных диапазонах, а снимки, сделанные сквозь них, могут иметь расхождения с другими. С помощью канала 9 это легко отследить [32,33].

Каналы 10 и 11 регистрируют тепловое инфракрасное излучение. Данные каналы позволяют измерять температуру поверхности Земли [32,33].

4.5. Этапы работы с космическими снимками

Дешифрирование многозональных снимков Landsat 8 OLI производилось в несколько этапов:

1) Скачивание снимков Landsat 8 OLI с интернет ресурса <https://earthexplorer.usgs.gov/> на сайте Earthexplorer.

Основным источником исходных материалов исследования послужили многозональные космические снимки спутника Landsat 8 OLI на территории города Ижевска и пригородных районов за ряд лет (2013-2017 гг.) за август – сентябрь. Эти месяцы были выбраны, так как в данный период наблюдались благоприятные климатические условия для дешифрирования территории (облачность от 0 до 20%), притом наблюдается активное цветение золотарника канадского.

2) Открытие и поканальное склеивание скаченных снимков территории в программе QGIS 2.18.12 [36].

- работа с многозональными снимками в сочетании каналов в естественных цветах. При склеивании космических снимков необходимо предварительно установить модули, представленные на (приложение 6.)
- для работы с многозональными снимками в сочетании каналов неестественных цветов необходимо установить специализированный

модуль - Semi-Automatic Classification. Выбранная система координат (EPSG:32640, WGS 84/ UTM zone 40N) для исследования.

2) Открытие и склеивание снимков в программе было произведено по следующему алгоритму:

1) Открываем программу QGIS, заходим в меню Растр и выбираем функцию объединение в «Прочем» (Приложение 7)

2) В окошке «Объединение» заполняем данные (Приложение 8). В исходных данных выбираем 3 файла формата TIFF оканчивающихся на band 2-4, что соответствует снимкам спутника с каналами 2-4. Обязательно выделяем пункт Place each input file into a separate band. Другие пункты и поля не заполняем, так как сама программа сделает их по умолчанию.

Работа с полученным склеенным поканально снимком. Открываем меню слой – свойства - стиль и выбираем подходящие нам функции (рис.5). Для более лучшего отображения объектов на снимке и главное растительности, необходимо в свойстве слоя поработать с частотами каналов с помощью функции гистограмма. Полученные значения частот по трем каналам ввести в строку для данных в свойстве стиля. Это дает нам более естественные цвета на снимке, которые в дальнейшем можно классифицировать по индексу NDVI.

3) Получение единого снимка по 3 каналам выбранной территории.

В результате объединения и склеивания снимков получены карты за исследуемый период.

Для расчета площади изменения растительного покрова территории производилась работа с каналами 2-7 в модуле Semi-Automatic Classification по следующему алгоритму:

1) Открытие скаченных снимков. Схема открытия снимков: SCP – Preprocessing – Landsat – Directory containing Landsat bands - Select MTL file – Apply DOS 1 atmospheric correction – Run.

В окне для работы со снимками спутника Preprocessing – Landsat выбираем папку с архивом года далее в следующей строке добавляем MTL файлы каналов 2-7. Делаем автоматическую атмосферную коррекцию через операцию – Apply DOS1 atmospheric correction. На приложение 11 показан скриншот диалогового окна. Для проведения операции добавления снимков в программу Qgis через модуль, выполняем операцию под названием Run.

2) Обрезка снимков до исследуемой территории.

Скаченные космические снимки, охватывали северную, северо-восточную и центральную часть Удмуртской республики, поэтому необходимо обрезать снимок до территории города.

Схема обрезки снимков: SCP – Preprocessing – Clip multiple rasters – Refresh list – Select all – Set area in the map – Run.

В открытом окне Clip multiple rasters добавляем космические снимки. Обновление слоев проекта в модуле происходит через кнопку Refresh list. После обновления, добавляем файлы каналов – RT, через кнопку – Select all. Для выбора зоны обрезки нажимаем кнопку - Set area in the map и переходим к карте, вырезать необходимую область по границе исследуемого района.

Сохранение новых слоев проекта в папке с англоязычным названием – Clip_2017. Завершение процесса через операцию Run.

3) Создание одного растрового слоя.

Формирование одного слоя для работы со снимком производится через объединение всех слоев в модуле. Этот способ объединения снимков предоставляет возможность работать с большим количеством сочетаний каналов, не соединяя их отдельно, как в первом способе, описанном выше.

Схема создания одного слоя из 5 снимков: SCP – Band set – Refresh list – Add band to Band set – Quick wavelength settings – Landsat 8 Oli (bands 2, 3, 4, 5, 6, 7) – Run. Для объединения слоев в один выбираем ранее созданные слои под названием Clip_2017.

4) Работа в созданном наборе каналов под названием Band set.vrt.

Для отображения различных комбинаций каналов используем строку под названием RGB, в которую вводим, интересующие нас каналы (расчет площади был произведен в синтезе каналов неестественных цветов) [37].

5) Расчет площади различных групп территории по полигонам по следующей схеме:

Открытие таблицы атрибутов – калькулятор полей – создание нового поля Area, десятичного типа – Геометрия - \$area – в поле формулы делим значение площади, полученное в квадратных метрах на 1000000, чтобы получить значение площади в км². Проведение переноса данных в программу Microsoft Excel для расчета различных групп, представленных на территории исследования.

4. 6. Расчет вегетационных индексов NDVI

В настоящее время существует более 150 вариантов вегетационных индексов. Они подбираются экспериментально (эмпирическим путем), исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв.

Для эффективного анализа с точки зрения растительного покрытия и фитомассы, а также для количественной оценки был использован вегетационный индекс NDVI. Он основан на коэффициентах отражения каналов 4, 5 красного и ближнего инфракрасного соответственно с пространственным разрешением 30 метров и длиной волны 0,630-0680 - RED и 0,845-0885 – Near Infrared, NIR [32]. Отношение высокой фотосинтетической и инфракрасной активности позволяет четко отделять и анализировать растительность от других природных объектов. Использование разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения и позволяет уменьшить влияние природных явлений, таких как различия в облачности, освещенности, поглощение радиации атмосферой [32].

Рассчитаем коэффициент NDVI по формуле :

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Где, NIR - отражение в ближней инфракрасной области спектра
RED - отражение в красной области спектра

В соответствие с этой формулой, плотность растительности (NDVI) в известной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на их сумму. Для передачи индекса используется стандартизованная непрерывная градиентная или дискретная шкала, которая показывает его значения в диапазоне от -1 до 1 (приложение 9).

Вследствие особенности отражения в красной и ближней инфракрасной области спектра, природные объекты, не характеризующие растительность, имеют установленное значение индекса. Это позволяет использовать параметр для их распознавания (приложение 5).

Существует устойчивая связь между показателем NDVI и продуктивностью для экосистем. Вегетационный индекс NDVI - искусственный безразмерный показатель, рассчитанный для измерения эколого-климатических характеристик растительности и показывает связь с некоторыми другими параметрами, такими как:

- Продуктивность (временные изменения).
- Биомасса.
- Влажность.
- Испаряемость.
- Объем выпавших осадков.
- Мощность снежного покрова.

Зависимость между этими параметрами и NDVI-индексом, как правило, не прямая и связана с особенностями конкретной территории. Благодаря всем этим особенностям, карты NDVI часто используются в ГИС-анализе как один из промежуточных дополнительных слоев для проведения более сложных типов вычислений. В целом, главным преимуществом NDVI-индекса является легкость его получения: для вычисления не требуется никаких дополнительных данных и методик, кроме непосредственно многоканальных космических снимков и дискретной шкалы [26].

Глава 5. Составление программы уточняющей аэрофотосъемки мест произрастания золотарника канадского в окрестностях г.Ижевска при помощи беспилотного летательного аппарата

5.1. Проведение уточняющей аэрофотосъемки в автономном режиме полёта.

Для обеспечения автономного полёта беспилотника была проведена работа по установке дополнительного электронного оборудования.

1. Полётный контроллер Pixracer R15 Autopilot
2. Модуля телеметрии RFD900
3. Модуль GPS
4. Модуль питания APM2.6
5. Приёмник tbs
6. Пульт радио управления radiomaster tx12 с модулем tbs обеспечивающим дальность связи 20 км

Полётный контроллер стал сердцем самолёта. Он обеспечивает связь всех модулей между собой, держит самолёт в заданном положении и корректирует курс для движения по заданным координатам, которые получает от GPS, с помощью модуля телеметрии RFD900 происходит обмен информацией с наземной станцией.

Автономный полёт программировался через программное обеспечение Mission Planner. С начала производилась настройка самого борта. То есть выбор типа аппарата, настройка аксилрометров, гироскопов, калибровка пульта управления, настройка наружных компасов(GPS) (Приложение 12).

После завершения настройки борта мы перешли к разработке полётного задания. (примеры полётного задания в приложении). Финальным этапом стали испытания.

5.2. Проведение аэрофотосъемки с применением БПЛА включает в себя четыре основных этапа

Этап 1 - подготовка маршрута. Собирается информация о фотографируемой местности, составляется летная карта, которая представляет собой маршрут полета летательного аппарата. При этом выбираются ориентировочные предметы, которые хорошо измеряются с летательным прибором и легко опознаваемы на аэроснимке. Определяется масштаб аэросъемки в зависимости от требуемой визуальной информативности. Она подразделяется на:

- а) крупномасштабную — крупнее 1:10000;
- б) среднемасштабную — от 1:10000 до 1:30000;
- в) мелкомасштабную — от 1:30000 до 1:100000.

Каждый последующий маршрут перекрывает предшествующие на некоторый процент площади (обычно на 40-60 %), что позволяет избежать боковых смещений и смещений, но может быть изменено в соответствии с требованиями к этим снимкам.

Этап 2 - летно-съёмочный процесс. Этот этап представляет собой работы по аэрофотографированию земной поверхности. Аэрофотосъемка может быть линейной, площадной или кадровой для точечных объектов.

Съемку территорий до 100 кв. км, точечных объектов или небольших по площади, а также протяженных линейных объектов рекомендуется производить с помощью БПЛА.

Управление может быть как ручным (дистанционным), так и автоматическим. Ручное управление осуществляется оператором с помощью пульта дистанционного управления посредством анализа информации, поступающей с видеокамеры беспилотника. При данном типе управления оператор поддерживает заданную высоту полета и придерживается намеченного маршрута. В свою очередь, минимальное управление осуществляется с помощью бортовых программных устройств, которые автоматически производят контроль полета по заданному маршруту и высоте.

Этап 3 - обработка данных. Изображения объединяются в ортофотоплан. Использование классических элементов фотограмметрии в поиске с алгоритмами программного обеспечения позволяет обеспечить высокую точность и контроль этапов обработки.

Этап 4 - анализ результатов. На данном этапе производится оценка тех или иных параметров объекта.

С учетом выделенных этапов аэрофотосъемки нами была составлена следующая программа проведения дистанционного зондирования мест произрастания золотарника канадского в окрестностях г.Ижевска (приложение 4)

Программа проведения аэрофотосъемки мест произрастания золотарника канадского в окрестностях г.Ижевска

		примечание
Исследуемая территория	Муниципальное образование «Ягульское» Завьяловского района	Земли сельхозназначения
Площадь обследования	50-80 км ²	
Даты обследования	Вторая половина августа 2024г.	Время массового цветения золотарника. С учетом метеоусловий
Место запуска БПЛА	Автодром у объездной дороги г.Ижевска	
Модель БПЛА	Планер «Альбатрос»	
Масштаб аэрофотосъемки	1:10000	
Модель видеооборудования	VanTop moment 3	Экшен камера
ПО для обработки аэрофотоснимков	AgiSoft Photo S can	ПО Российского производства

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг является важной частью экологического контроля. Для мониторинга сегодня доступно применение методов дистанционного наблюдения с использованием гражданских БПЛА. Применение БПЛА позволяет оперативно собрать детальную информацию об объекте и территории исследований (в том числе удаленной и труднодоступной), обработать и проанализировать данные, используя программное обеспечение. Одним из направлений на рынке беспилотников является контроль при помощи мультиспектральных камер за распространением растений, прежде всего инвазивных.

На территории Удмуртии, и особенно в окрестностях Ижевска, на данный момент наиболее агрессивным и активно распространяющимся является золотарник канадский. Он обладает выраженными аллелопатическими свойствами, вытесняя как сельскохозяйственные культуры, так и местных представителей флоры. Успешная борьба с распространением золотарника предполагает, прежде всего, детальное картирование его мест произрастания. Для этой цели мы предлагаем использовать БПЛА самолётного типа.

Нами разработана и собрана модель планера «Альбатрос», которая при тестовых испытаниях показала хорошие летные качества: Благодаря тому, что тяговое усилие двигателя при форсаже превосходит взлётную массу в 1,4 раза планер имеет высокую скороподъёмность и отлично противостоит встречным воздушным потокам, причём может подниматься почти вертикально при движении против ветра. Из-за складного пропеллера и обтекаемой формы фюзеляжа достигается высокая обтекаемость корпуса и минимальное лобовое сопротивление. «Альбатрос» при своих больших размерах отлично управляется благодаря элеронам, килю и рулю высоты. Планер будет оснащен экшен камерой VanTop moment 3, которая осуществляет съемку местности в непрерывном формате. Для обработки аэрофотоснимков будет использовано программное обеспечение Российского производства AgiSoft Photo Scan.

Согласно составленной нами программы проведения аэрофотосъемки мы планируем узнать примерное расположение скоплений золотарника канадского с помощью космических снимков, а затем увеличить точность полученной карты с помощью применения аэрофотосъемки проводимой с помощью беспилотника Альбатрос. В наших планах охватить территорию площадью 50-80 км² в пределах Муниципального образования «Ягульское» Завьяловского района, но в будущем мы будем масштабировать проект. Здесь к северу от Ижевска расположено более 20 коттеджных поселков и 23 садовгородных массива. Возможно, это стало причиной широкого распространения еще недавно культивируемого как декоративное растение золотарника канадского. Земли сельскохозяйственного назначения в пределах МО «Ягульское» составляют всего 23,4 % и они практически полностью заросли золотарником. Администрация муниципального образования обеспокоена этим фактом, поэтому планирует на теплый период 2024г. разработать программу по

снижению площадей распространения не только борщевика Сосновского, но и золотарника канадского. Это будет происходить, прежде всего, посредством перепахивания территории. Для расчета необходимых технико-экономических затрат необходимо определить площади и точные координаты планируемых работ. Полученные нами аэрофотоснимки при запуске разработанной модели БПЛА будут переданы администрации МО «Ягульское» и помогут решить поставленные задачи более точно и оперативно

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. Афанасьев П. П., Голубев И. С., Новиков В. Н. и др. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / под ред. И. С. Голубева, И. К. Туркина. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2008. 656 с.
2. Баранова О. Г. О распространении адвентивных растений в агрофитоценозах Удмуртской Республики // Адвентивная и синантропная флора России и стран ближнего зарубежья: состояние и перспективы: Матер. 3-ей Межд. науч. конф. - Ижевск, 2006. - С. 17-18.
3. Баранова О. Г., Бралгина Е. Н. Инвазионные растения во флоре Удмуртской Республики // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. - 2015а. - Вып. 2. - С. 31-36.
4. Беленков А.И. Опыт и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в точном земледелии // Агроснабженческий журнал «Нивы России». 2016. №5(138) июнь. С. 62-65.
5. Вторый В.Ф., Вторый С.В. Перспективы экологического мониторинга сельскохозяйственных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Теоретический и научно-практический журнал ИАЭП. 2017. Вып. 92. [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/> (просмотрено 10.01.2024).
6. Ганин С. М. Беспилотные летательные аппараты. СПб. : ООО ТРК, 2013. 248 с.
7. Карпеня Г.М. Золотарники — нарастающая угроза. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://glavagronom.ru/articles/zolotarniki-narastayushchaya-ugroza> (просмотрено 20.12.2023).
8. Колдомова Е. А. *Solidago canadensis* L.(Asteraceae) в г. Ижевске [Электронный ресурс] - Огарёв-Online. -2018. - №. 8 (113). - Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/solidago-canadensis-l-asteraceae-v-g-izhevsk> (просмотрено 29.11.2023).
9. Колдомова Е. А., Науменко Н. И. Некоторые особенности распространения *Solidago canadensis* в городах Удмуртской Республики. Экосистемы, 2020. С. 68-74.
10. Кулемалина А.П., Платунова Г.Р. Изучение биологических и экологических особенностей золотарника канадского в условиях средней полосы России (на примере г. Ижевск) [Электронный ресурс] / // Теоретические и прикладные аспекты организации, проведения и использования мониторинговых наблюдений - Минск : ИВЦ Минфина, 2023. - С. 231-232. - Режим доступа : <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/handle/123456789/21850>.
11. Кулемалина А.П., Платунова Г.Р. Исследование аллелопатического потенциала золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) как вида, имеющего высокую инвазивную активность [Электронный ресурс]// Сборник материалов участников XIX Большого географического фестиваля - Санкт-Петербург : Свое издательство, 2023. - С. 482-486. - Режим доступа : <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/handle/123456789/22191>
12. Медведков Д.А., Овчинникова Н.Г. Практика беспилотных летательных аппаратов в целях проведения земельно-кадастровых работ // Сборник статей по материалам Международной студенческой научно-практической конференции. — Краснодар, 2019. — С. 221-225.

13. Парафесь С. Г. Методы структурно-параметрической оптимизации конструкции беспилотных летательных аппаратов. М. : МАИ-ПРИНТ, 2009. 316 с.
14. Регулирование распространения и численности золотарника канадского. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pinsk.gov.by/gosserv/priroda> (просмотрено 10.01.2024).
15. Рэнделл У., Биард Т. Малые беспилотные летательные аппараты. Теория и практика. М. : Радар ММС, 2014. 184 с.
16. Сергеев К. Р. «Беспилотники» в сельском хозяйстве // Специализированный сельскохозяйственный журнал «Ресурсосберегающее земледелие». 2013. №2(18). С. 30-33.
17. Федосеева Н. А., Загвоздкин М. В. Перспективные области применения беспилотных летательных аппаратов // Научный журнал. 2017. № 9 (22). — С. 26-29.
18. Фетисов В.С., Неугодникова Л.М. и др. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В.С. Фетисов, // Монография. - Уфа: ФОТОН, 2014. -217 с.
19. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России) / [Ред. Ю. К. Виноградова]. - Москва: ГЕОС, 2010. - 494 с.
20. Черная книга флоры Удмуртской Республики: монография / [Ред. О. Г. Баранова] - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016. - 68 с.
21. Шарафутдинов А. А., Имамутдинов С. А., Мухаметьянова А. Н., Табульдина А. Т., Маннанов Т. А. Применение беспилотных летательных аппаратов для дистанционного мониторинга окружающей среды// Экология, охрана труда, пожарная и промышленная безопасность № 2 (2018) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ogbus.ru/article/view/> (просмотрено 10.01.2024).
22. Экологический мониторинг с применением беспилотников [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://drone.aero/new/ekologicheskij-monitoring-s-primeneniem-bespilotnikov/> (просмотрено 10.01.2024).
23. (Сайт администрации МО «Ягульское» // [Электронный ресурс]: <https://zav-18.gosuslugi.ru/administration/selskie-poseleniya/mo-yagulskoe.php>)
24. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. URL: <http://gis-lab.info/qa/qgis-landsat-merge.html> (дата обращения: 02.04.2019)
25. Никитина Юлия Григорьевна. Диссертация на тему: Геоинформационное ландшафтно-экологическое картографирование для управления природоохранными территориями (на примере Прибайкальского национального парка): диссертация ... кандидата Технические науки: 25.00.33 / Никитина Юлия Григорьевна; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»], 2018.
26. Евдокимов С. И., Михалап С. Г., «Определение физического смысла комбинации каналов снимков landsat для мониторинга состояния наземных и водных экосистем». Серия «Естественные и физико-математические науки». 7/2015.
27. Чандра А.М., Гош С.К. «Дистанционное зондирование и географические информационные системы» МскТехносфера, 2008 г.

- 28 Белова Е.И., Ершов Д.В. Методика создания безоблачных композитных изображений по спутниковым данным LANDSAT // Восьмая открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов». 2010. С. 33–34.
- 29 Черепанов А.С. Вегетационные индексы: справочные материалы // Геоматика. 2011. № 2. С. 98–102
- 30 Лиджиева Н.Ц., Уланова С.С., Федорова Н.Л. Опыт применения индекса вегетации (NDVI) для определения биологической продуктивности фитоценозов аридной зоны на примере региона Чёрные земли // Известия Саратовского университета. Сер. Химия. Биология. Экология. 2012. Т. 12. Вып. 2. С. 94–96.
- 31 Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: учебник для студентов учреждений высш. Проф. образования / - 2-е изд., перераб. И доп. – М. : Издательский центр «Академия», 2011.
- 32 Гаркуша И.Н. Автоматизация процессов обработки космоснимков в задачах теплового картографирования городов // 36. Наук праць НГУ. Д.: Национальний горний університет. 2013. № 40. С. 114–120.
- 33 Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
- 34 Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов. М.: Радиотехника, 2005. 368 с.
- 35 Губко Ж.В «Применение методов дистанционного зондирования Земли при оценке площади расселения инвазивных видов на территории Удмуртской Республики (на примере Борщевика Сосновского)» ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ 2023
- 36 Постановление администрации города Ижевска от 28 июня 2010 года № 639 «Об утверждении Лесохозяйственного регламента Ижевского лесничества муниципального образования «город Ижевск» (с изменениями на 24 мая 2013 года)».
- 37 Академик. Словари и энциклопедии. [Электронный ресурс] URL: https://universal.en.ru.academic.ru/2408813/thematic_mapper (дата обращения: 02.04.2019)

Сборка и испытание «Альбатроса»



Элементы хвостового оперения после и во время обтяжки плёнкой





Создание фюзеляжа







Первые испытания «Альбатроса», проверка лётных качеств.

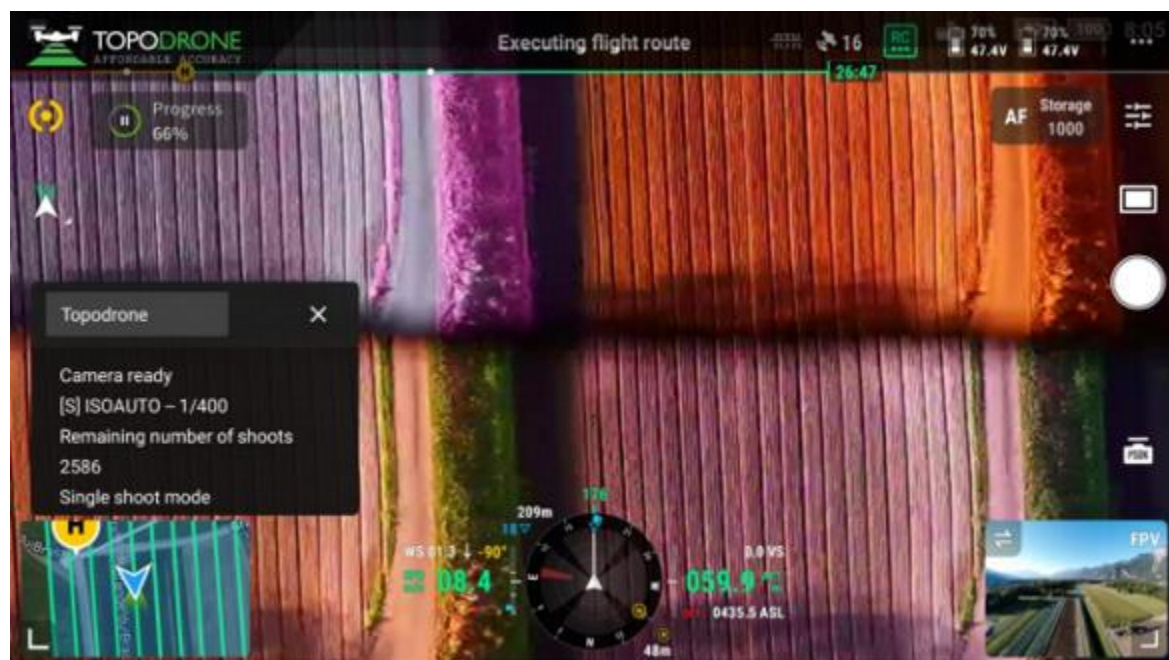
Тестирование автономного полёта



Процесс съемки с БПЛА



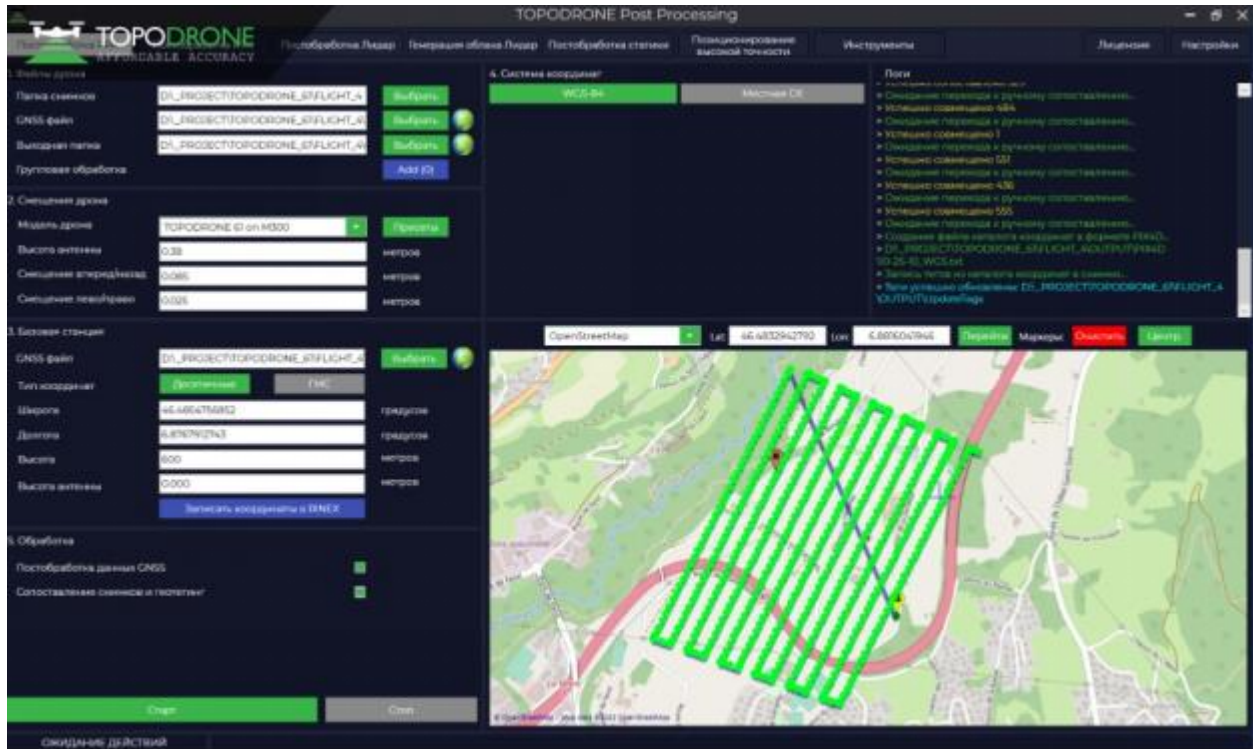
Мониторинг сельскохозяйственных угодий камерой TOPODRONE P61 с мультиспектральным объективом, отображение состояние камеры и передача видео в реальном режиме времени.



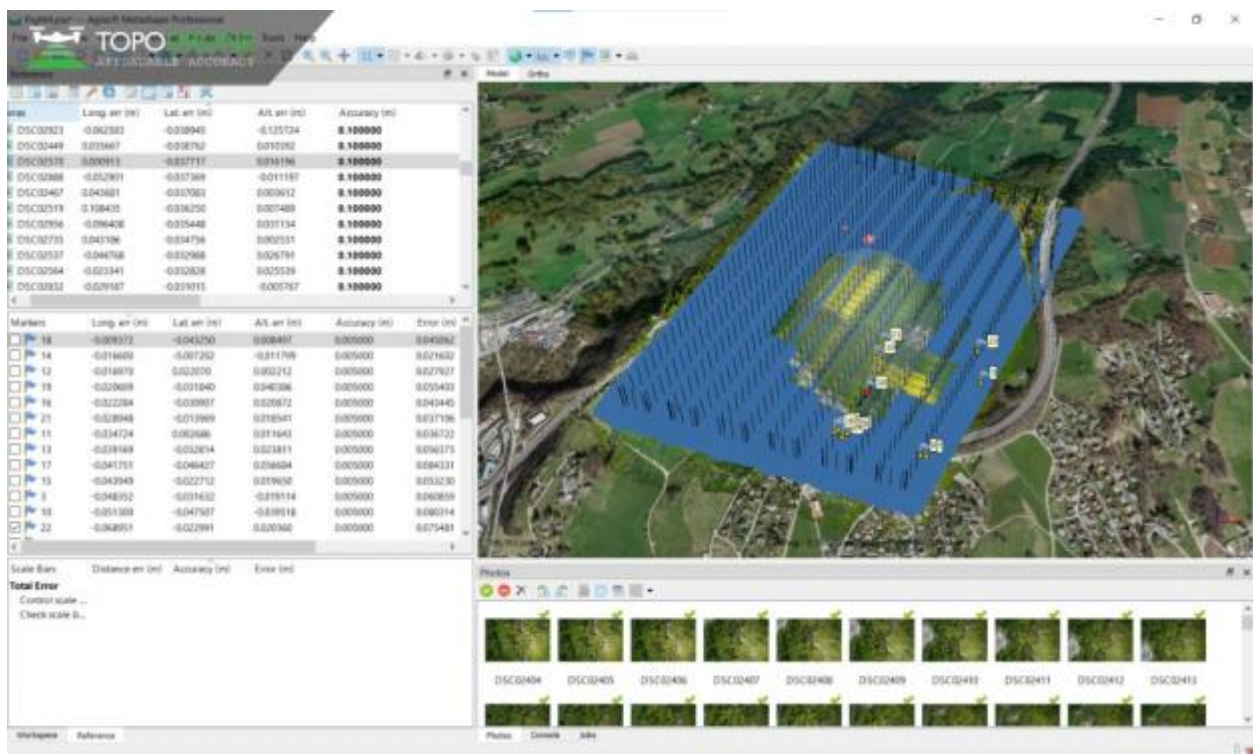
Мониторинг сельскохозяйственных угодий камерой TOPODRONE P61 с мультиспектральным объективом, отображение состояние камеры и передача видео в реальном режиме времени.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Полученные с помощью БПЛА фотографии и данные.



Постобработка ГНСС данных в TOPODRONE Post Processing.



Фотограмметрическая обработка с точностью 3-5 см по x,y,z.



Высокодетальное облако точек с высоты съемки 120 метров, отображающее опоры ЛЭП и провисы проводов.



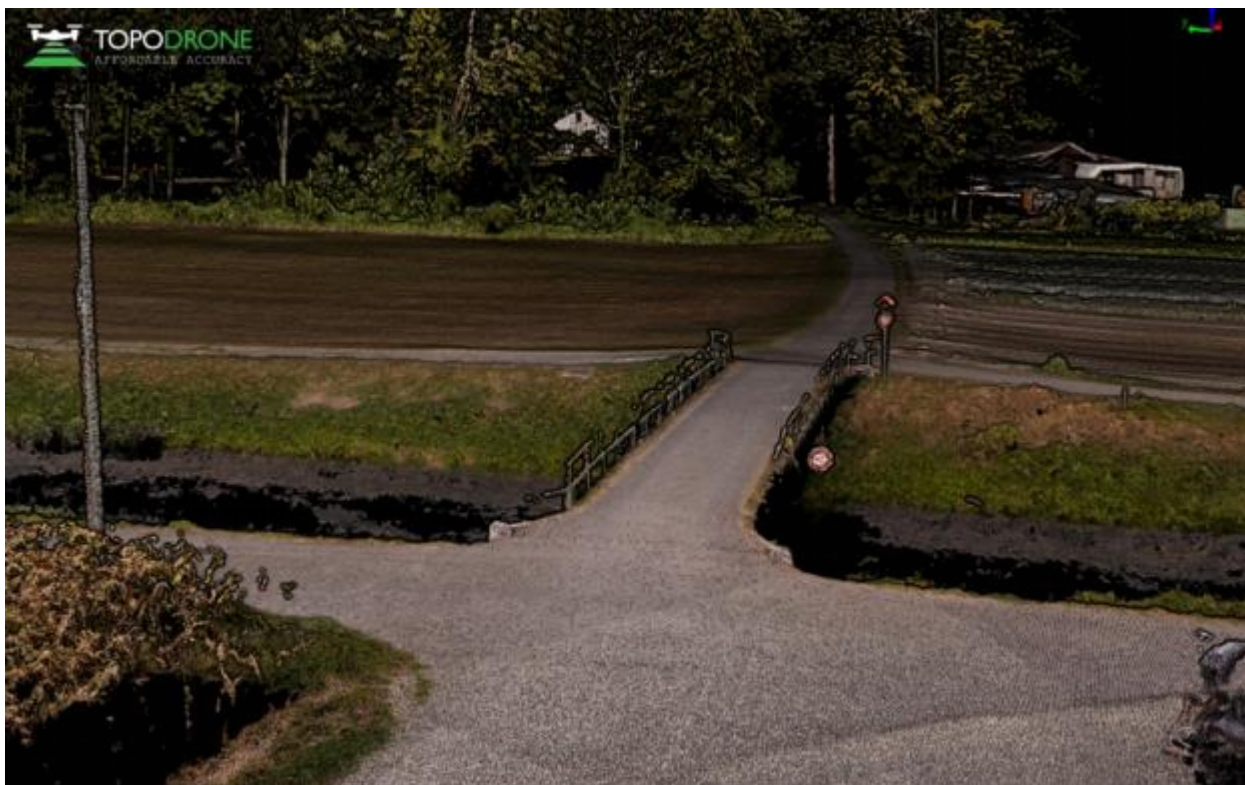
Высокодетальное облако точек с высоты съемки 120 метров, отображающее столбы и ограждения.



Высокодетальное облако точек с высоты съемки 120 метров, отображающее опоры ЛЭП и провисы проводов.



Высокодетальное облако точек с высоты съемки 120 метров, отображающее столбы и ограждения.



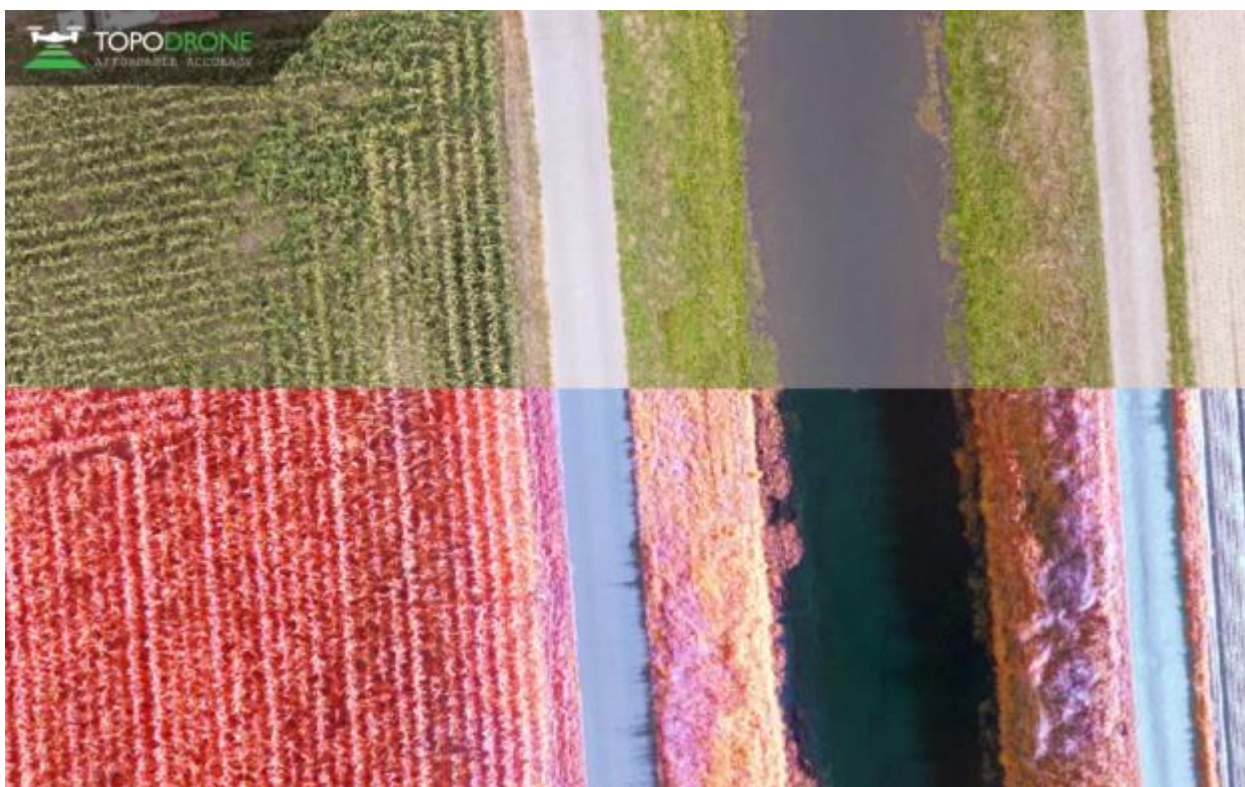
Высокодетальное облако точек с высоты съемки 60 метров, отображающее столбы и ограждения.



Высокодетальное облако точек с высоты съемки 60 метров.



Совмещение ортофотомозаик в видимом и инфракрасном диапазонах.



Совмещение ортофотомозаик в видимом и инфракрасном диапазонах.



Мультиспектральная ортофотомозаика лесной территории.

Основные характеристики спектральных каналов для Landsat 8

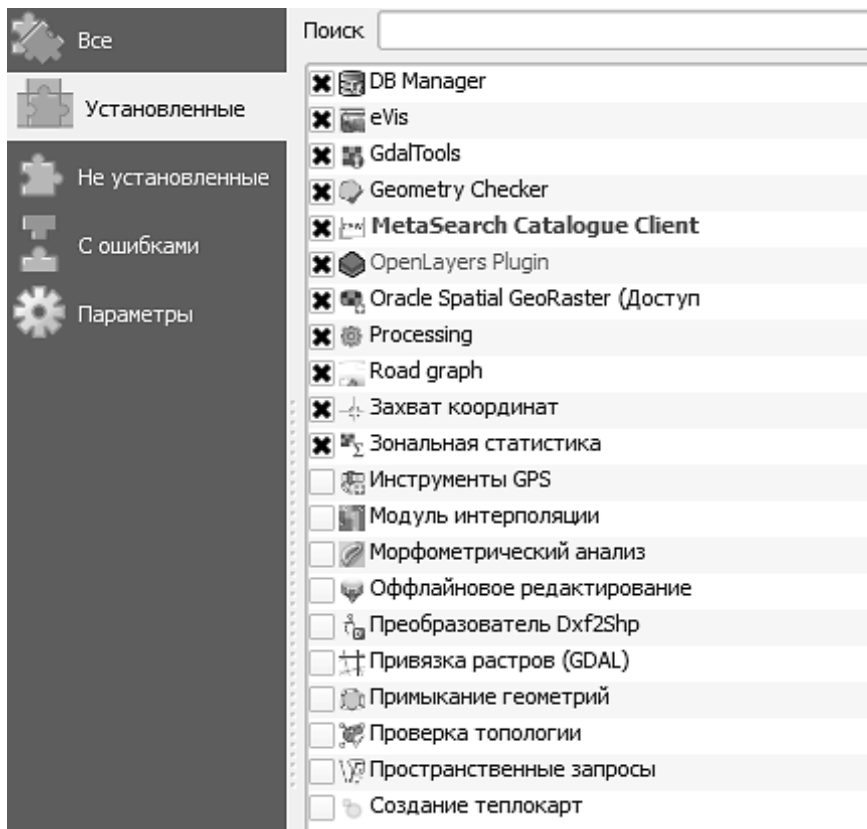
Спектральный канал	Длины волн, мкм	Разрешение (размер 1 пикселя)
Диапазоны OLI (Operational Land Imager)		
Канал 1 Побережья и аэрозоли (Coastal / Aerosol, New Deep Blue)	0.433 – 0.453	30 м
Канал 2 – Синий (Blue)	0.450 – 0.515	30 м
Канал 3 – Зелёный (Green)	0.525 – 0.600	30 м
Канал 4 – Красный (Red)	0.630 – 0.680	30 м
Канал 5 – Ближний ИК (Near Infrared, NIR)	0.845 – 0.885	30 м
Канал 6 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	1.560 – 1.660	30 м
Канал 7 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 3)	2.100 – 2.300	30 м
Канал 8 – Панхроматический (Panchromatic, PAN)	0.500 – 0.680	15 м
Канал 9 – Перистые облака (Cirrus, SWIR)	1.360 – 1.390	30 м
Диапазоны TIRS (Thermal Infrared Sensor)		
Канал 10 – Дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR1)	10.30 – 11.30	100 м
Канал 11 – Дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR2)	11.50 – 12.50	100 м

Фиксированное значение NDVI-индекса [11].

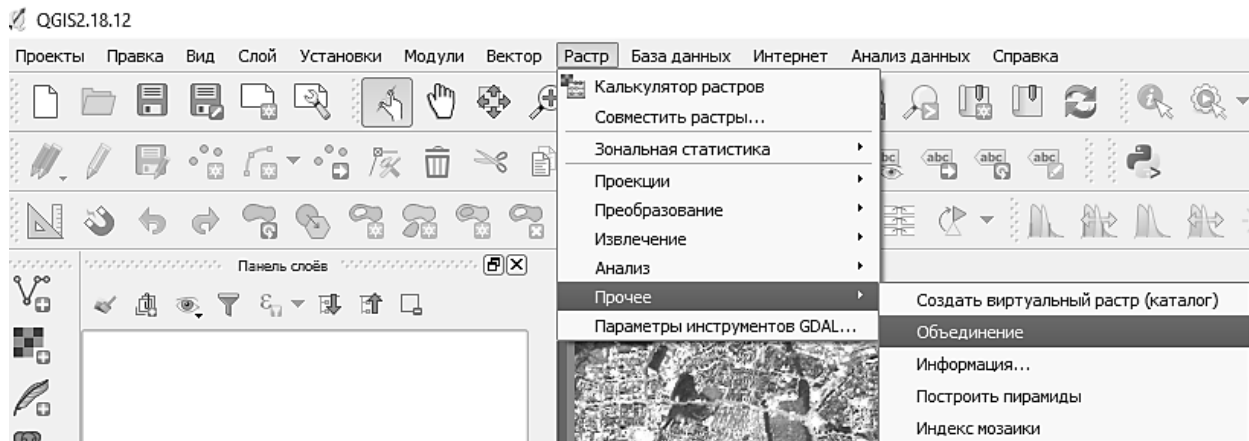
Тип объекта	Отражение в красной области спектра	Отражение в инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0,1	0,5	0,7
Разреженная растительность	0,1	0,3	0,5
Открытая почва	0,25	0,3	0,025
Облака	0,25	0,25	0
Снег и лед	0,375	0,35	-0,05
Вода	0,02	0,01	-0,25
Искусственные материалы (асфальт)	0,3	0,1	-0,5

Приложение 6

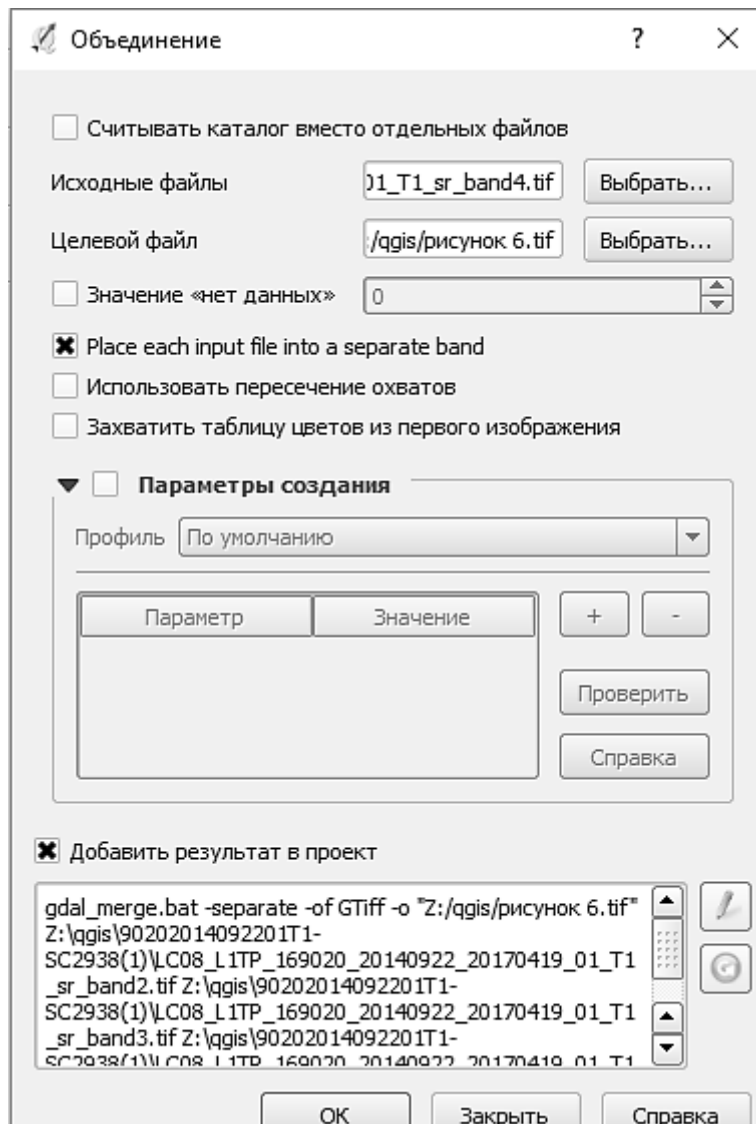
Список модулей QGIS версии 2.18.12



Скриншот программы QGIS меню Растр.



Скриншот программы QGIS окно «Объединение»



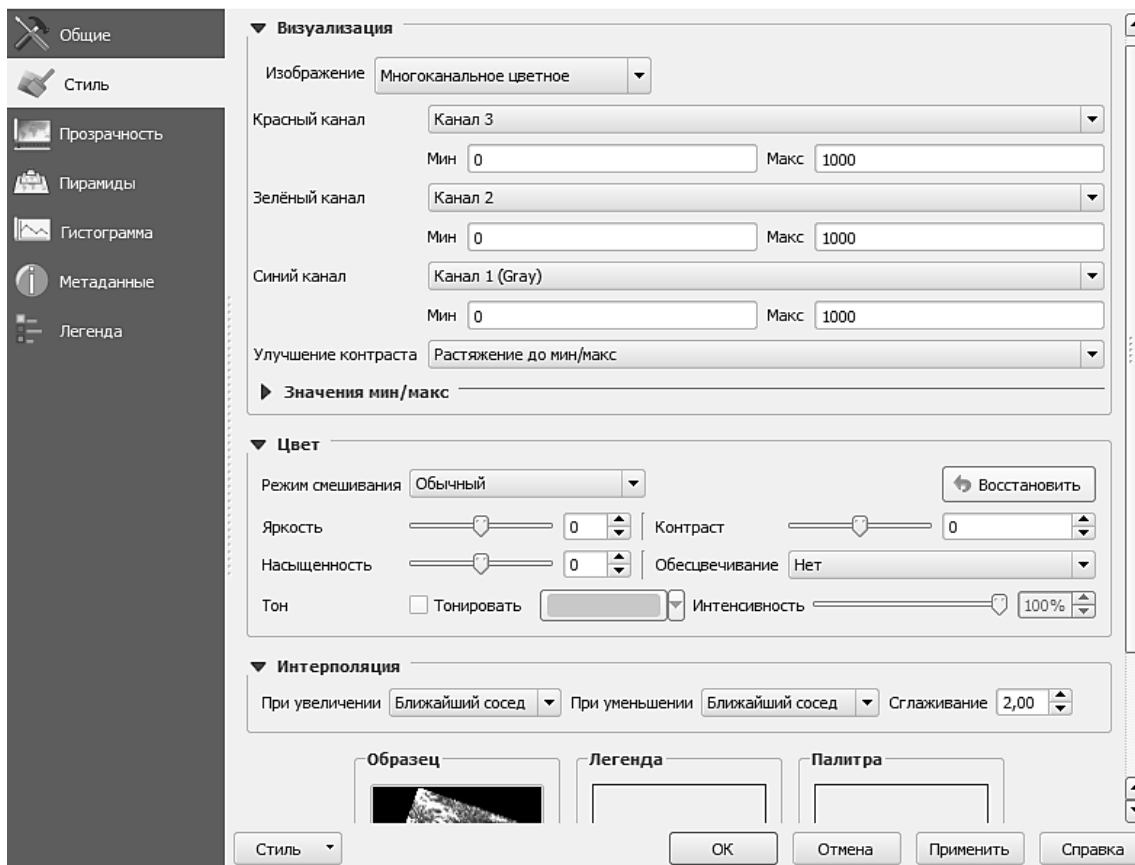
Приложение 9

Дискретная цветовая шкала NDVI.

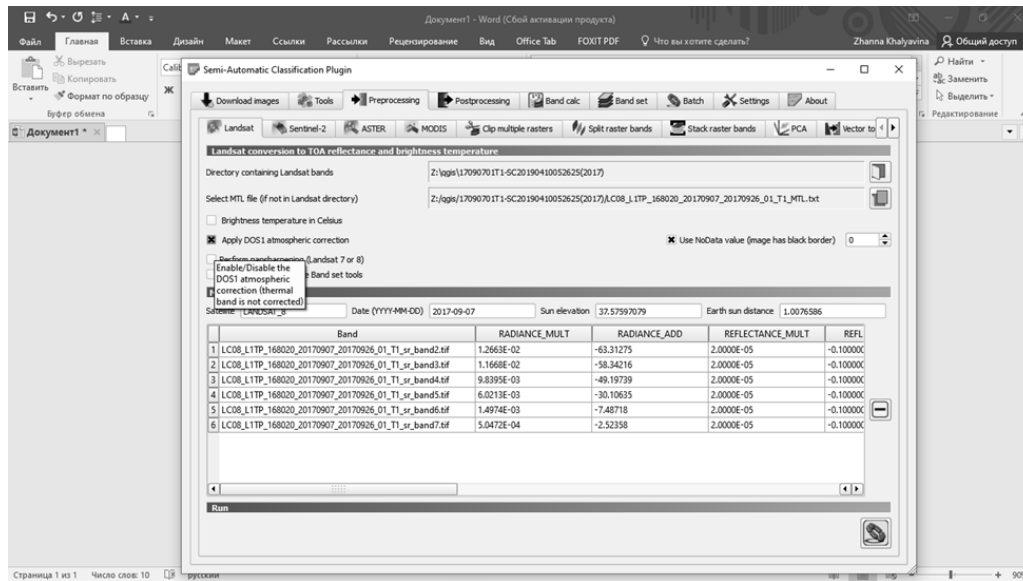


Приложение 10

Скриншот программы QGIS «свойства стиля».



Процесс склеивания каналов 2-7 в модуле Semi-Automatic Classification



Интерфейс Mission Planner

