

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

На правах рукописи

Долгополов Даниил Валентинович



Теоретическое обоснование разработки технологий аэрокосмических исследований для создания геопространственных моделей систем трубопроводного транспорта

1.6.19. Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия

Диссертация на соискание ученой степени доктора
технических наук

Научный консультант –
доктор технических наук, доцент
Мелкий Вячеслав Анатольевич

Новосибирск – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	16
1.1 Понятийный аппарат, используемый при дистанционном зондировании трубопроводного транспорта	16
1.2 Информационно-аналитический обзор аэрокосмических технологий, используемых при информационном обеспечении функционирования систем трубопроводного транспорта	22
1.2.1 Классификация аэрокосмических технологий, используемых при исследовании систем трубопроводного транспорта	22
1.2.1.1 Современные методы аэрокосмических исследований трубопроводов	26
1.2.1.2 Методы дешифрирования аэрокосмических изображений	34
1.2.2 Нормативно-правовое регулирование применения технологий дистанционного зондирования Земли для обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводных систем	36
1.2.3 Анализ потребностей в данных дистанционного зондирования Земли, геопространственной информации и геопространственных моделях при решении производственных задач трубопроводного транспорта	41
1.3 Анализ современных технологий обработки данных ДЗЗ и геопространственного моделирования природно-технических систем	46
1.3.1 Технологии проведения лазерного сканирования для построения трехмерных цифровых моделей	47

1.3.2	Технологическая схема комплексного мониторинга застроенных территорий с использованием методов дешифрирования аэрокосмических изображений.....	51
1.3.3	Технологические схемы дешифрирования аэрокосмических изображений для создания и обновления геопространственной информации	52
1.3.4	Постановка проблем направления исследований в области технологий аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования систем трубопроводного транспорта.....	54
	Выводы по первому разделу	58
2	РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА	62
2.1	Разработка комплекса методологических принципов геопространственного моделирования и аэрокосмических исследований трубопроводных систем.....	62
2.2	Теоретические основы аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования трубопроводных систем.....	65
2.2.1	Теоретические основы аэрокосмических исследований трубопроводных систем	65
2.2.2	Теоретические основы формирования единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта.....	74
2.3	Методология аэрокосмических исследований магистральных трубопроводов	80
2.3.1	Методология аэрокосмических исследований объектов трубопроводного транспорта, основанная на использовании трехмерных цифровых моделей, построенных по данным ДЗЗ	80
2.3.2	Методы и технологии комплексного аэрокосмического мониторинга систем трубопроводного транспорта.....	82

2.3.3 Способы фотограмметрической обработки данных цифровой аэросъемки	90
2.4 Разработка методологических основ формирования единого координатного пространства трубопроводной системы.....	92
2.4.1 Методы геодезического обеспечения аэросъемочных работ	92
2.4.2 Способы преобразования линейных координат трассы трубопровода в геодезические и обратно.....	95
2.4.3 Способы определения пространственного положения объектов подземной части трубопровода	96
2.5 Разработка методологических основ геопространственного моделирования технологических объектов магистральных трубопроводов	97
Выводы по второму разделу	100
3 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА.....	102
3.1 Разработка технологии мониторинга объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, ВЛС и методов геопространственного моделирования	102
3.2 Разработка технологии геопространственного моделирования объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования Земли на основе их классификации	107
3.3 Разработка технологии дешифрирования на аэрокосмических изображениях объектов магистральных трубопроводов с использованием системы линейных координат.....	113
3.3.1 Методы формирования единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта с использованием системы линейных координат	123
3.3.2 Переход от геодезических координат к линейным	126
3.3.3 Переход от линейных координат к декартовым координатам карты.....	127
3.3.4 Оценка точности определения положения промежуточной точки трубопровода	129

3.3.5 Уточнение линейных координат промежуточных точек трубопровода при появлении дополнительных калибровочных точек	129
3.3.6 Технологическая схема создания и обновления картографической информации в коридорах трассы трубопровода по аэрокосмическим изображениям.....	130
3.4 Теоретическое обоснование выполнения технологических операций дешифрирования опасных геологических процессов на основе использования геопространственных моделей.....	132
3.5 Разработка технологии аэрокосмического мониторинга паводковой ситуации в коридоре трасс трубопроводных систем	139
Выводы по третьему разделу	144
4 АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА.....	147
4.1 Апробация технологий мониторинга объектов линейной части МТ с использованием ЦАФС, ВЛС и технологии дешифрирования с использованием системы линейных координат.....	147
4.1.1 Мониторинг объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, ВЛС и методов внутритрубной диагностики	147
4.1.2 Апробация технологии дешифрирования на аэрокосмических изображениях объектов магистральных трубопроводов с использованием системы линейных координат.....	150
4.1.3 Апробация технологии создания системы линейных координат для трубопроводной системы	158
4.2 Апробация технологии мониторинга площадочных объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, лазерного сканирования и геопространственного моделирования при контроле строительных работ	162

4.3 Апробация технологии дешифрирования опасных геологических процессов с использованием геопространственных моделей по данным лазерного сканирования и цифровой аэросъемки	177
4.4 Апробация технологии аэрокосмического мониторинга паводковой ситуации в коридоре трасс трубопроводных систем	182
Выводы по четвертому разделу	187
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	190
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	193
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	195
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	232
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ № 2022662888. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА МОНИТОРИНГА ПРИРОДНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ.....	233

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Устойчивое развитие экономики Российской Федерации и национальная безопасность государства в значительной степени обусловлены состоянием транспортной инфраструктуры, в том числе трубопроводным транспортом. Оперативное определение условий безопасного функционирования и перспективные направления его развития на современном этапе возможны только в условиях полной цифровой трансформации экономики и построения единого геоинформационного пространства, позволяющего решать многочисленные проблемы, обусловленные, в том числе, имеющими место внешними вызовами и санкционным давлением на наше государство.

Оперативное построение геоинформационного пространства территорий Российской Федерации с соответствующей транспортной инфраструктурой возможно только при использовании аэрокосмических технологий, которые в сочетании с соответствующими наземными методами позволят успешно и в сжатые сроки решить все обозначенные выше проблемные вопросы.

Современный уровень технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) обеспечивает лидирующую позицию этого направления в планах по цифровизации экономики страны. «Дорожная карта», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.12.2021 №3719-р, определяет необходимость использования технологий беспилотной аэросъемки, лазерного сканирования и трехмерного моделирования при проектировании и строительстве объектов капитального строительства, составляющих структуру системы трубопроводного транспорта (ТТ) Российской Федерации.

Практическая реализация этих технологий и их внедрение в отрасль, обеспечивающую развитие и безопасное функционирование системы трубопроводного транспорта РФ, обуславливает необходимость теоретического обоснования применения существующих и разработки новых технологий аэрокосмических исследований, а также создания соответствующих геопространственных моделей.

Системное представление проблемных направлений, которые определяют условия обеспечения безопасной эксплуатации системы трубопроводного транспорта, приведено на рисунке В.1.

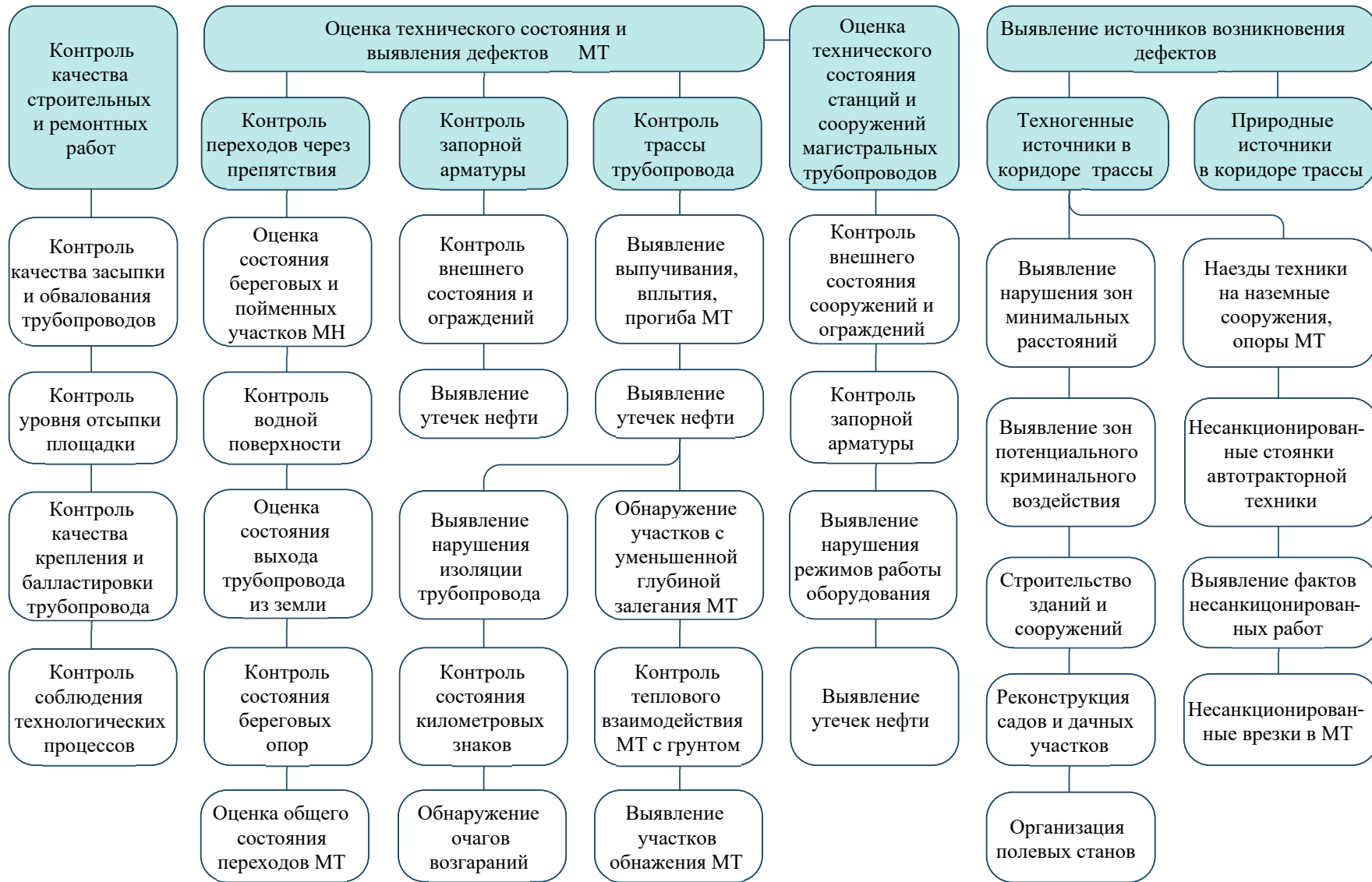


Рисунок В.1 – Системное представление проблемных направлений обеспечения безопасного функционирования систем трубопроводного транспорта Российской Федерации

Методы дистанционного зондирования обеспечивают необходимую оперативность получения данных для контроля динамики опасных геологических процессов (ОГП) и высокую детализацию, необходимую для оценки влияния природных процессов на объекты инфраструктуры. С помощью аэрокосмических технологий определяются параметры процессов, воздействующих на трубопровод, таких как растепление многолетнемерзлых грунтов, движение оползневых и селевых масс, подъем уровня воды.

Достоинствами методов ДЗЗ являются: высокая степень детализации получаемых данных, оперативность проведения работ, автоматизация и скорость обработки данных мониторинга, а также возможность съемки объектов в труднодоступных местах. Вместе с тем, теория и методология аэрокосмического мониторинга трубопроводных систем, методы обработки материалов съемки разработаны в настоящее время недостаточно подробно, что, вне всякого сомнения, отрицательно сказывается на практике применения этих технологий. Данный негативный теоретический аспект в теоретических основах и технологиях аэрокосмического мониторинга магистральных трубопроводов не позволяет использовать современные возможности беспилотных авиационных систем (БАС), воздушного лазерного сканирования (ВЛС), трехмерного моделирования при анализе состояния трубопроводных систем.

Таким образом, теоретическое обоснование и разработка новых технологий аэрокосмических исследований трубопроводных систем является в настоящее время актуальным направлением исследований. Данная проблема решается путем разработки теоретических, методологических основ и технологий аэрокосмических исследований на основе использования современных высокоточных средств измерения, БАС, методов и технологий геопространственного моделирования. Отличием нового методологического подхода является использование данных ДЗЗ в качестве основного источника информации об объекте мониторинга, обеспечивающих получение данных, необходимых для геопространственного моделирования. Разработанные технологии позволяют получить количественные характеристики динамики природных и техногенных процессов в коридоре трассы трубопровода с целью прогноза их развития и предотвращения катастрофических последствий.

Степень разработанности темы. Методологической базой для решения поставленной проблемы являются теоретические исследования, методические и технологические разработки следующих ведущих российских ученых: Аковецкого В. Г., Барталева С. А., Брыня М. Я., Бондура В. Г., Карпика А. П., Комиссарова А. В., Книжникова Ю. Ф., Савиных В. П., Шоломицкого А. А. в области дистанционных методов исследования природно-технических систем; Гука А. П., Мустафина М. Г., Соловицкого А. Н., Чибуничева А. Г. в области фотограмметрических методов обработки; Пьянкова С. В., Тимофеева В. Ю., Уставича Г. А., Хлебниковой Т. А., Хорошилова В. С., Щербакова В. В., Ямбаева Х. К. в области геопро пространственного моделирования и обеспечения точности построения моделей; Беленко В. В., Лисицкого Д. В., Мелкого В. А., Николаевой О. Н., Сизова А. П., Трубиной Л. К., Шаповалова Д. А. в области мониторинга земель и управления земельными ресурсами; Браткова В. В., Зверева А. Т., Малинникова В. А. в области тематической обработки космических изображений для исследования состояния природно-технических систем. Научное исследование опирается также на труды зарубежных ученых, таких как Кронберг П., Kogan F. N. в области космических методов исследования; Tomlinson R. F., Zeiler M. в области формирования геоинформационного пространства; Feyisa G. L., McFeeters S. K., Xu H. в части построения и использования индексных изображений по материалам многозональной космической съемки.

Степень разработанности проблемы характеризуется разрозненностью выполненных исследований и разработок, часто не имеющих общих методологических принципов. Они не ориентированы на необходимость создания системы технических и технологических решений по дистанционному зондированию для обеспечения производственных задач трубопроводного транспорта, на комплексное применение аэрокосмических, геодезических и геоинформационных технологий. Поэтому огромные потенциальные возможности по комплексному использованию данных ДЗЗ, интегрированию на системных принципах пространственной информации, характеризующей территорию, геопро пространственному моделированию и анализу природно-технических систем трубопроводного транспорта остаются нераскрытыми.

Целью исследования являлось теоретическое обоснование разработки технологий аэрокосмических исследований для создания геопространственных моделей систем трубопроводного транспорта, обеспечивающих их безопасную эксплуатацию.

Для достижения цели были поставлены следующие *задачи*:

- провести анализ современных технологий аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования трубопроводных систем;
- разработать комплекс методологических принципов геопространственного моделирования и создания технологий аэрокосмических исследований систем трубопроводного транспорта на основе единого координатного пространства;
- разработать теоретические основы аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования трубопроводных систем на основе разработанных методологических принципов;
- разработать методологические основы формирования единого координатного пространства трубопроводного транспорта для интеграции разнородной геопространственной информации;
- разработать методологию создания и использования геопространственных моделей по данным дистанционного зондирования для решения задач мониторинга трубопроводных систем;
- разработать методы и технологии аэрокосмического мониторинга и геопространственного моделирования трубопроводных систем по материалам дистанционного зондирования;
- разработать методы и технологии дешифрирования объектов трубопроводной системы, опасных природно-техногенных процессов для получения количественных характеристик динамики их протекания в коридоре трассы трубопроводов;
- провести апробацию разработанных технологий аэрокосмических исследований природно-технических систем трубопроводного транспорта.

Объектом исследований является природно-техническая система трубопроводного транспорта.

Предмет исследования – теоретическое и методологическое обоснование создания геопространственных моделей и формирования единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта по материалам аэрокосмических съемок.

Научная новизна исследований, проведенных в рамках настоящей диссертационной работы, заключается в следующем:

– разработаны теоретические основы геопространственного моделирования трубопроводных систем на основе формируемого единого координатного пространства;

– разработан комплекс методологических принципов аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования объектов природно-технической среды, позволяющий реализовать систему контроля динамики процессов, влияющих на состояние магистральных трубопроводов;

– разработано теоретическое обоснование выполнения технологических операций по дешифрированию объектов трубопроводного транспорта и определению дефектоформирующих факторов, позволяющее в автоматизированном режиме с высокой степенью достоверности реализовывать данные технологии;

– на основе технологий геопространственного моделирования и дешифрирования аэрокосмических изображений разработаны методологические основы аэрокосмического мониторинга для получения количественных характеристик динамики природно-техногенных процессов в коридоре трассы трубопровода.

Теоретическая значимость работы заключается в теоретическом обосновании и разработке методологии аэрокосмических исследований для создания геопространственных моделей трубопроводного транспорта, обеспечивающих его безопасную эксплуатацию. Использование геопространственных моделей позволяет расширить область применения материалов ДЗЗ на различных этапах проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводных систем.

Практическая значимость работы. Технологии, разработанные в результате проведенных исследований, позволяют осуществлять практическую деятельность

по использованию материалов ДЗЗ при информационном обеспечении процессов строительства и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта. Разработанные решения реализованы в программном обеспечении (ПО) «Технологическая цифровая платформа мониторинга природно-технологической среды», которое внесено в единый реестр российских программ для ЭВМ и используется в производственной деятельности.

Методология и методы исследования. Теоретические и экспериментальные исследования выполнены с использованием общих принципов и методов научных исследований (системный анализ, наблюдения, сравнения, измерения, эксперимент), методов вычислительной математики, математического анализа, математической статистики и теории математической обработки результатов измерений, а также специальных методов (объектно-ориентированный и геоинформационный анализ, алгоритмическое проектирование, байесовские интеллектуальные измерения).

Научные положения, выносимые на защиту:

– разработанные теоретические и методологические основы формирования единого координатного пространства обеспечивают интеграцию разнородной пространственной информации, получаемой в процессе аэрокосмических исследований с целью построения геопрограммной модели трубопроводной системы и проведения комплексного анализа данных мониторинга;

– теоретическое и методологическое обоснование разработки технологий аэрокосмических исследований позволяет на основании единого координатного пространства выполнить геопрограммное моделирование системы трубопроводного транспорта;

– разработанные методологические основы аэрокосмического мониторинга, основанные, в том числе на дешифрировании изображений материалов дистанционного зондирования Земли, обеспечивают получение количественных характеристик динамики природных и техногенных процессов в коридоре трассы, что обуславливает возможность безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта Российской Федерации.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует областям исследований: 13 – Теория, методы и техно-

логии создания трехмерных моделей объектов земной поверхности, инженерных и других объектов, на основе различных видов съемки (оптическая, радиолокационная, лазерно-локационная и др.); 14 – Теория, методы и технология решения задач дистанционного зондирования и фототопографических съемок с применением беспилотных летательных аппаратов паспорта научной специальности 1.6.19. Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России. В итоге диссертационного исследования разработано новое комплексное направление, предопределяющее активное использование средств ДЗЗ для получения геопространственной информации в целях развития трубопроводного транспорта, а, следовательно, и экономики страны в целом.

Апробация результатов исследований. Основные результаты исследований, разработанные теоретические положения диссертации, итоги и выводы, полученные при апробации разработанных технологий аэрокосмических исследований трубопроводных систем, докладывались автором и обсуждались на XII Международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2017» (24–25 мая 2017 г., г. Уфа); 13-м Российском Нефтегазовом Конгрессе/ RPGC 2017 в рамках международной выставки «Нефть и газ» / MIOGE 2017 (27–30 июня 2017 г., г. Москва); 13 Pipeline Technology Conference (12–14 марта, 2018 г., г. Берлин, Германия); Международной научно-технической конференции «Пространственные данные – основа стратегического планирования, управления и развития» (27–29 мая 2019 г., г. Москва); на Международных научных конгрессах «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» в 2020–2023 гг. в г. Новосибирске; на Татарстанском нефтегазохимическом форуме, посвященном 100-летию образования ТАССР (2–4 сентября 2020 г., г. Казань); V Национальной научно-практической конференции с международным участием «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» (24–26 ноября 2021 г., г. Новосибирск); международном форуме «Геопространственные технологии. Глобальные тренды» (25–26 ноября 2021 г., г. Москва); инженерно-строительном форуме «Строительная

отрасль в условиях новых вызовов» (26 мая 2022 г., г. Краснодар); XIV Международной научно-практической конференции «Геодезия. Маркшейдерия. Аэро-съемка. Навигация» (16–17 февраля 2023 г., г. Москва); Третьей международной выставке по инженерным изысканиям и геотехническому проектированию «ГЕО-ИНФО FORUM & EXPO 2023» (Москва, 19–20 апреля 2023 г., г. Москва).

Автор участвовал в разработке программы для мониторинга природно-технических систем трубопроводного транспорта, о чем получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (RU 2022662888).

Результаты исследований используются в деятельности общества с ограниченной ответственностью «КАРТЭК» (акт о внедрении результатов научных исследований от 29.09.2023). Результаты исследований внедрены в учебный процесс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сахалинский государственный университет» для направления 05.04.06 Экология и природопользование.

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 31 научной публикации, из них 26 – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора наук, 1 – свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 233 страницы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, включающего 270 наименований, содержит 23 таблицы, 72 рисунка, 2 приложения.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

1.1 Понятийный аппарат, используемый при дистанционном зондировании трубопроводного транспорта

Аэрокосмические исследования природно-технических систем магистральных трубопроводов (МТ) – это вид деятельности по удовлетворению производственных потребностей в данных дистанционного зондирования для территорий прохождения трасс трубопроводного транспорта, включающий сбор данных аэрокосмическими методами, обработку материалов съемки, моделирования объектов геопространства и протекающих процессов для обеспечения строительства и эксплуатации.

Целью аэрокосмического исследования территорий трубопроводного транспорта является удовлетворение производственных потребностей в данных дистанционного зондирования, включая пространственные данные, в интересах безопасной эксплуатации трубопроводных систем.

Объектом деятельности по аэрокосмической съемке являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Именно данные ДЗЗ собираются, преобразуются и используются для получения результата, нужного потребителю.

Средствами являются современные средства дистанционного зондирования, геодезических работ, а также геоинформационные системы (ГИС), обеспечивающие сбор, хранение, обработку, моделирование, анализ, использование, распространение и визуализацию данных дистанционного зондирования с использованием аппаратно-программных комплексов.

Процесс информационного обеспечения с использованием технологий аэрокосмических съемок заключается в геодезическом обеспечении, съемке, обработке материалов съемки, моделировании природно-технических систем, пространствен-

ном анализе, подготовке пространственных решений и геоинформации, необходимость в которой возникает в процессе производственной деятельности подразделений трубопроводного транспорта.

Результатами аэрокосмических исследований МТ являются: данные дистанционного зондирования, пространственная информация, пространственные модели техногенных и природных объектов.

Трехмерные цифровые модели местности (ЦММ) и рельефа (ЦМР) строятся в процессе обработки данных дистанционного зондирования Земли (точек лазерного отражения или фотограмметрического облака) и представляют собой трехмерное представление геометрии местности или рельефа.

Трехмерная цифровая модель объекта трубопроводного транспорта формируется как совокупность базовых трехмерных пространственных моделей, полученных в процессе обработки геоданных, в едином координатном пространстве.

Трехмерные цифровые модели, описывающие геометрию пространственного объекта вместе с сематическим описанием его характеристик и свойств, формируют геопространственную модель объекта исследования.

И геоданные, и полученные на их основе трехмерные пространственные модели формируют геопространственную модель трубопроводной системы, отражающую объективную реальность. Однако для анализа состояния инфраструктуры, надежной эксплуатации и планирования развития необходимы знания, представляющие собой оценку протекающих процессов и явлений. Такие знания получили название «геознаний» [31].

Таким образом, современная теория геопространственного моделирования трубопроводных систем должна основываться на использовании комплекса базовых понятий геоданных, геопространственных моделей и геознаний.

Целью моделирования объектов трубопроводного транспорта является описание природно-технической системы и процессов, протекающих в коридоре трассы в процессе эксплуатации. При этом используются трехмерные математические модели. Чем точнее построена трехмерная модель, чем точнее установ-

лены зависимости протекания процессов, тем вернее построено описание объекта природно-технической системы и тем точнее прогноз протекающих процессов [173,174].

Аэрокосмические исследования трубопроводных систем производят периодически, в том числе с использованием *опознавательных знаков* (опознаков).

Опознак – точка объекта фотограмметрической съемки с известными пространственными координатами, опознанная на фотограмметрическом снимке (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Пример опознавательного знака для проведения аэросъемочных работ

Опознак может быть плановым (известны координаты X , Y), планово-высотным (известны все три координаты X , Y , Z) и высотным (известна только высота Z). Опознак используется в качестве опорной или контрольной точки при фотограмметрической обработке фотограмметрического снимка. При периодическом мониторинге опознак может быть долговременным.

При аэрокосмических исследованиях *магистральных трубопроводов* в качестве объекта съемки выступают участки трубопроводной системы, в том числе объекты линейной части и площадочные объекты (объекты, расположенные на промышленных площадках).

К *магистральным нефтепроводам* (МН) относятся трубопроводы протяженностью свыше 50 км и диаметром от 219 до 1 220 мм включительно, предназначенные для транспортировки товарной нефти из районов добычи до мест потребления или перевалки на другой вид транспорта.

МН (рисунок 1.2) в общем случае включает в себя *линейную часть* магистрального нефтепровода и *нефтеперекачивающие станции* (НПС). Для компенсации неравномерности транспорта нефти на участках трубопровода и на НПС оборудуют *резервуарные парки* (РП).

Началом магистрального нефтепровода считается *головная НПС*, расположенная обычно в районе промыслов. Сюда стекается нефть по нескольким подводящим трубопроводам, смешивается, разделяется по сортам, учитывается и закачивается в магистральный трубопровод. В качестве конечного пункта обычно выступает нефтебаза нефтеперерабатывающего завода или нефтеналивного порта. Бесперебойную доставку нефти из начального в конечный пункт обеспечивает линейная часть, которая, кроме собственно трубопровода, включает целый ряд элементов, предназначенных для безопасной, безаварийной эксплуатации нефтепровода. Заданный напор перекачиваемой нефти поддерживают промежуточные нефтеперекачивающие станции.

Магистральный нефтепровод может быть проложен одиночно или параллельно другим действующим или проектируемым магистральным трубопроводам в едином техническом коридоре. Под *техническим коридором* магистральных трубопроводов понимают систему параллельно проложенных по одной трассе трубопроводов.

Вдоль оси трубопровода и вокруг его объектов для обеспечения нормальных условий эксплуатации и исключения возможности повреждения трубопровода устанавливаются *охранные зоны* и *зоны минимальных расстояний*. Размеры охранных зон и порядок производства в них сельскохозяйственных и других работ регламентируются правилами охраны магистральных трубопроводов, а также требованиями по безопасной эксплуатации.

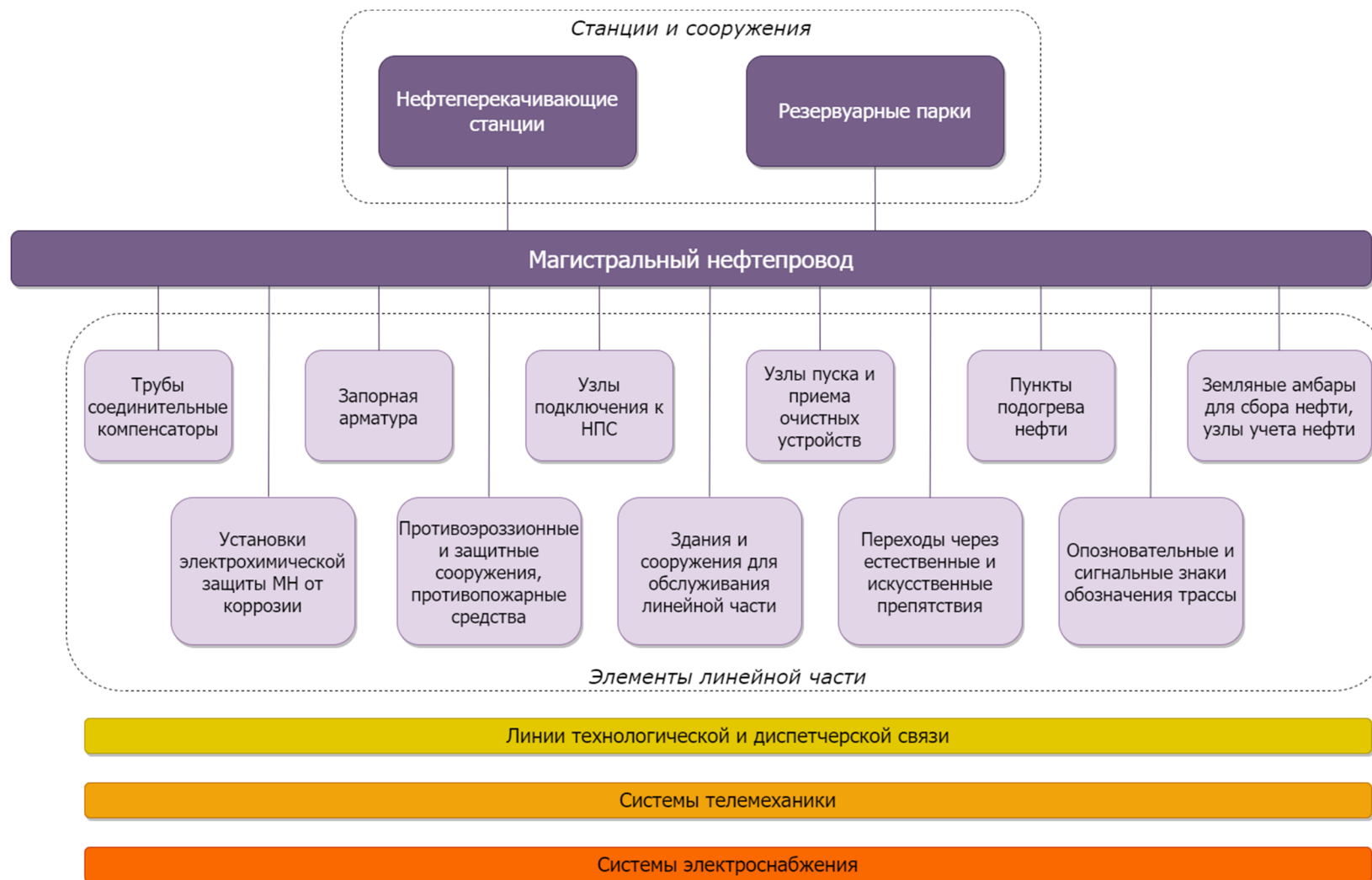


Рисунок 1.2 – Структурная схема магистрального нефтепровода

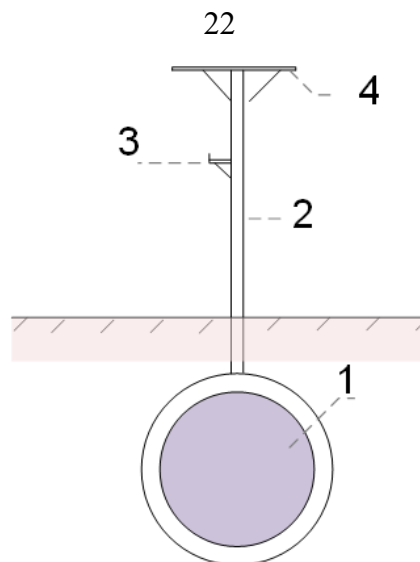
Магистральный газопровод – это инженерный комплекс сооружений, который предназначен для доставки природного газа по трубопроводу к местам обработки, потребления. Через определенные интервалы на газопроводе установлены газокompрессорные станции, поддерживающие давление в трубопроводе. В конечном пункте магистрального газопровода расположены газораспределительные станции, на которых давление понижается до уровня, необходимого для снабжения потребителей. К магистральным газопроводам относят газопроводы с рабочим давлением свыше 1,2 Мпа.

По типу прокладки различают надземные, подземные и подводные трубопроводы.

Для контроля положения трубопроводов подземной прокладки, например при эксплуатации трубопроводов в сложных природно-климатических условиях, используют методы воздушного лазерного сканирования и *устройства определения высоты* (УОВ) [147]. Такие устройства позволяют отслеживать состояние трубопровода на участках с многолетними мерзлыми грунтами, в зонах, подверженных развитию термокарстов.

Устройства монтируются на магистральный трубопровод подземной прокладки хомутовым соединением. УОВ представляет собой металлическую трубу с размещенной на ней квадратной металлической пластиной (размером 40 x 40 см), которая располагается перпендикулярно к лучу сканирования. На пластине также имеется отверстие (прорез) для нивелирной рейки. Под пластиной на трубе крепится геодезический репер (рисунок 1.3).

С помощью методов воздушного лазерного сканирования осуществляется привязка каждого устройства к реперам, установленным вдоль нефтяной магистрали и имеющим точные планово-высотные или высотные координаты. Анализ измерений в процессе мониторинга позволяет определить возможные изменения фактического положения трубопровода в грунте.



1 – трубопровод, 2 – труба, 3 – геодезический репер,
4 – квадратная металлическая пластина

Рисунок 1.3 – Устройство определения высоты, установленное на трубопроводе

1.2 Информационно-аналитический обзор аэрокосмических технологий, используемых при информационном обеспечении функционирования систем трубопроводного транспорта

1.2.1 Классификация аэрокосмических технологий, используемых при исследовании систем трубопроводного транспорта

Аэрокосмические исследования трубопроводов производятся путем периодического наблюдения за состоянием линейной части в коридоре трассы трубопровода и площадочных объектов МТ. Периодичность наблюдения устанавливается с учетом требований к результатам исследований, параметров используемых материалов предыдущих съемок и оперативных данных о технических характеристиках и условиях эксплуатации объектов мониторинга.

В процессе выполненных исследований выявлено, что областями целевого использования данных ДЗЗ являются:

- оценка технического состояния МТ;
- мониторинг ОГП;

- контроль состояния окружающей среды;
- контроль качества строительных и ремонтных работ;
- контроль состояния охранной зоны и зоны минимальных расстояний.

Анализ использования аэрокосмических технологий при мониторинге МТ показал, что основной целью мониторинга является обеспечение надежной работы трубопроводных систем.

Основными задачами являются: оценка технического состояния трубопровода, выявление дефектов и их источников в коридоре трассы и мониторинг строительных и ремонтных работ.

В процессе исследований выявлено, что в ходе мониторинга осуществляется:

- анализ состояния охранной зоны трубопроводов, воздушных переходов, переходов через водные преграды и овраги, крановых узлов, узлов запуска и приема очистных устройств, установок электрохимической защиты, линий связи и электропередачи, площадок хранения аварийного запаса труб, вдольтрассовых проездов к трубопроводам, мостов, дамб через ручьи и овраги, переездов через трубопроводы, водопропускных и других сооружений, находящихся в охранной зоне;

- наблюдение за параллельно проложенными трубопроводами, линиями ЛЭП, авто- и железными дорогами, линиями связи и другими сооружениями, местами пересечения указанных сооружений с объектами трубопровода в пределах зон минимальных расстояний;

- контроль проведения строительных и ремонтных работ на трубопроводах;
- регистрация нарушений и повреждений на трубопроводах;
- оперативная локализация аварийных ситуаций на трубопроводах.

При анализе материалов мониторинга охранной зоны и зон минимальных расстояний магистральных трубопроводов осуществляются:

- выявление фактов нарушения минимальных расстояний от МТ до иных объектов:

- выявление фактов несоблюдения правил охраны магистральных трубопроводов и аварий, возникших на сооружениях других ведомств в районе прокладки трубопровода и реально угрожающих его работоспособности;

- сбор и систематизация сведений о состоянии охранных зон, объектов трубопроводной системы и представление их заинтересованным лицам для разработки конкретных мер по повышению надежности трубопроводов;

- выявление фактов проведения несанкционированных работ в охранной зоне и зонах минимальных расстояний.

При анализе материалов мониторинга хода выполнения строительных и ремонтных работ производится:

- контроль качества засыпки и обвалования трубопровода;
- контроль соблюдения технологических процессов;
- контроль качества крепления и балластировки трубопровода.

В ходе решения задачи оценки технического состояния и выявления дефектов МГ по материалам мониторинга осуществляется:

- контроль трассы трубопровода;
- выявление утечек нефти;
- контроль запорной арматуры;
- выявление нарушений изоляции трубопровода;
- обнаружение очагов возгораний в районе прокладки МГ (лесных массивов, торфяников, сельскохозяйственных угодий);
- выявление участков выпучивания, всплытия и прогиба трубопровода;
- обнаружение участков трубопровода с уменьшенной глубиной залегания;
- выявление участков размыва обсыпки и обнажения труб;
- контроль теплового взаимодействия трубопровода с грунтом;
- контроль состояния переходов через препятствия;
- оценка состояния береговых и пойменных участков МГ;
- контроль водной поверхности (на отсутствие выхода нефти);
- оценка общего состояния переходов;
- контроль состояния береговых, промежуточных опор и мачт;
- оценка состояния выходов трубопровода из земли;

- контроль состояния километровых знаков и указателей;
- контроль внешнего состояния и ограждений;
- оценка технического состояния станций и сооружений МТ.

При выявлении наиболее опасных мест для террористического воздействия на магистральный трубопровод по материалам аэрокосмического мониторинга определяется:

- состояние ограждения и других элементов систем охраны объектов нефтепровода;
- следы движения техники вне дорог около объектов нефтепровода;
- несанкционированные участки (следы) проведения земляных работ в охранной зоне;
- состояние участков трубопровода надземной прокладки;
- состояние защитных и охранных сооружений трубопровода;
- участки скрытного подхода к объектам трубопровода.

В процессе анализа технической литературы выявлено, что потенциально опасными участками трубопроводов, на которых наиболее вероятно появление дефектов и аварий линейной части МТ, являются:

- участки с наиболее сложными инженерно-геологическими условиями: сильнольдистые (суммарной льдистостью более 0,4) грунты, пучинистые грунты, подземные льды;
- участки трассы на границе между талыми и вечномерзлыми грунтами;
- участки с наиболее высокими эксплуатационными нагрузками на трубопровод;
- косогоры с льдонасыщенными грунтами;
- оползневые участки;
- участки, пересекаемые селевыми потоками;
- участки на подрабатываемых территориях;
- всплывшие участки и арки;

- воздушные и подводные переходы;
- пересечение трубопроводов;
- переходы под железными и автомобильными дорогами;
- технологические трубопроводы компрессорных станций;
- перемычки, крановые узлы, компенсаторы, отводы;
- участки с дефектами (по результатам дефектоскопии).

Периодичность выполнения работ по мониторингу и обработке материалов, полученных в ходе мониторинга, определяется внутренними отраслевыми инструкциями и нормативными документами. Периодичность мониторинга для магистральных трубопроводов приведена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Периодичность мониторинга участков трубопроводных систем

№ п/п	Участок нефтепровода	Периодичность наблюдения
1	Трасса трубопровода на пересечениях с технологическими коммуникациями	один раз в квартал
2	Трасса трубопровода около объектов в зонах минимальных расстояний	один раз в квартал
3	Надземные переходы через естественные и искусственные препятствия	весна – после паводка лето – в период максимальных температур зима – в период минимальных температур
4	Подземные переходы через естественные и искусственные препятствия	весна, осень
5	Другие участки трубопровода	весна, осень

1.2.1.1 Современные методы аэрокосмических исследований трубопроводов

Анализ технической и специальной литературы показал, что изучение территории прохождения трассы магистральных трубопроводов, оценка состояния природно-технических систем сегодня осуществляются преимущественно с использованием средств дистанционного зондирования, поскольку масштаб и скорость изменений на площадках строительства и в процессе эксплуатации в коридоре трассы трубопровода настолько велики, что охватить подробным наземным изучением столь протяженные территории в единый момент времени не представляется возможным [8, 20–22, 110, 201–204].

Материалы космической съемки позволяют организовать информационное обеспечение для мониторинга протяженных зон, через которые проходят магистральные трубопроводы [111, 228]. Данные аэромониторинга (с использованием пилотируемой авиации и беспилотных летательных аппаратов) используют для наблюдения за отдельными участками трубопровода или за промышленными площадками магистральных трубопроводов. Такие данные ДЗЗ используются в качестве объективного, постоянно пополняемого источника информации о местоположении объектов и его характеристиках, а также как возможный источник актуализации векторных пространственных данных [1, 27, 86].

Результаты исследований показали, что данные ДЗЗ могут быть использованы при решении широкого круга задач производственных подразделений по различным направлениям деятельности, в том числе в рамках технической эксплуатации, проектирования, капитального строительства и реконструкции, обеспечения безопасности, управления собственностью, земельно-имущественными отношениями и т. д.

Территория, обеспечиваемая материалами ДЗЗ, включает линейную часть трубопроводов, площадные объекты, а также зоны интересов: охранные зоны, зоны минимально допустимых расстояний, буферные зоны в зависимости от прикладных задач. Помимо этого, данными ДЗЗ могут обеспечиваться другие территории, в том числе зоны проектируемых и строящихся объектов [99, 120]. При выполнении различных видов исследований природно-технических систем МТ аэрокосмическими средствами излучение объектов регистрируется с использованием различных методов и различной по принципу работы съемочной аппаратуры (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Классификация дистанционных методов по технологии получения информации

Возможности использования материалов съемки во многом зависят от спектрального диапазона, который отображает физическую сущность характеристик объектов, зафиксированных на снимках, и от технологии получения этих снимков, определяющей их качество, изобразительные и измерительные свойства [131]. Состав данных дистанционного зондирования по типам съемки, диапазонам и пространственному разрешению приведен на рисунке 1.5.

В процессе работы определено, что основным источником информации для решения задач являются аэрокосмические изображения, получаемые в оптическом диапазоне длин волн, а также материалы ВЛС, реже – данные тепловой съемки или космической радиолокационной съемки (см. рисунок 1.5).

Качество аэрокосмической информации видимого диапазона напрямую зависит от охвата территории, пространственного и временного разрешения съемочных систем, последнее определяется повторяемостью съемок территории, обеспечивая данными, необходимыми для решения задач картографирования динамики состояния природно-технической среды [170, 47, 73].

В зависимости от размера объекты трубопроводного транспорта можно разделить на следующие:

- линейно-протяженные;
- точечные или компактные площадные;
- средние площадные;
- крупные площадные.

Технологии аэромониторинга, в том числе воздушное лазерное сканирование, удобнее для съемки крупных объектов трубопроводного транспорта. Для небольших и сложных объектов и их детальной съемки используют технологию наземного лазерного сканирования (НЛС).

Решение задач геотехнического мониторинга обычно требует использования нескольких видов дистанционного зондирования, в том числе – высокоточных. К современным высокоточным методам ДЗЗ относятся методы лазерного сканирования: воздушное, наземное и мобильное. Использование высокоточных методов объясняется требованием к точности съемки, которая при мониторинге геометрии технических объектов не должна превышать от 5 до 50 мм в зависимости от объекта мониторинга.

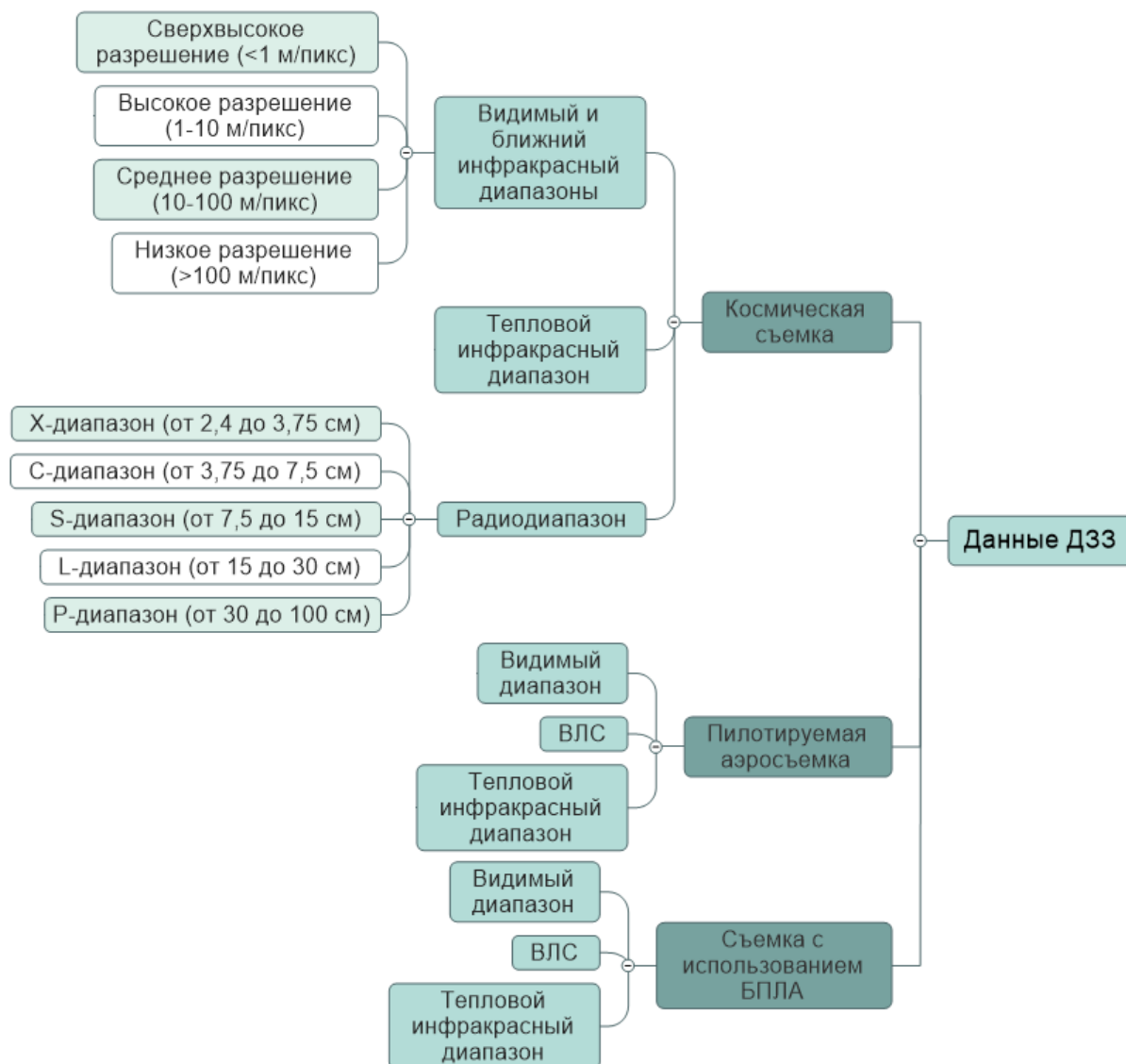


Рисунок 1.5 – Состав данных дистанционного зондирования по типам съемки, диапазонам и пространственному разрешению

Среди ключевых потребностей в использовании данных ДЗЗ, при информационном обеспечении процессов строительства и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта были отмечены:

- дешифрирование объектов инфраструктуры МТ;
- выявление и мониторинг опасных геологических процессов;
- мониторинг опасных природных процессов (пожары, паводки);
- экологический мониторинг.

Решаемые задачи определяют требования к данным ДЗЗ как по точности, так и по охвату. Например, данные ДЗЗ для задач экологического мониторинга месторождений могут иметь охват до нескольких тысяч километров квадратных при детальности на уровне метра и менее. Для мониторинга паводковой и пожарной обстановки используют индексные изображения (NDVI, NDWI, MNDWI, AWEI и др.), получаемые на основе многозональных космических изображений, таких как TERRA/AQUA, Landsat 8, Sentinel-2A и др. (таблица 1.2).

Современные технологии дистанционного зондирования позволяют проводить регулярную съемку территорий прохождения трубопроводных систем. Методы автоматизированной обработки данных многозональной съемки позволяют оперативно получать информацию о характеристиках поверхности Земли [58, 88].

Таблица 1.2 – Области спектра и диапазоны съемки съемочных систем TERRA/AQUA, Landsat 8, Sentinel-2A

(Электронный ресурс: <https://eos.com> с дополнениями)

Участок оп- тических волн	Область спектра	Диапазон длин волн, нм	TERRA или AQUA(MODIS)			Landsat 8 (OLI, TIRS)			Sentinel-2A(MSI)			Наименование (eng)
			Канал	Длина волны, нм	Разреше- ние, м	Канал	Длина волны, нм	Разреше- ние, м	Канал	Центр. длина волны, нм	Разреше- ние, м.	
Видимый	фиолетовая	400 - 450	8	405 - 420	1000							
			9	438 - 448	500	Ка- нал 1	430 - 450	30	B1	443,9	60	Ultra blue (Coastal and Aer- osol)
	синяя	450 - 480	3	459 - 479	500	Ка- нал 2	450 - 510	30				Blue
	голубая	480 - 510	10	483 - 493	1000				B2	496,6	10	
	зеленая	510 - 550	11	526 - 536	1000	Ка- нал 3	530 - 590	30				Green
			12	546 - 556	1000							
	желто-зеле- ная	550 - 575	4	545 - 565	500				B3	560,0	10	
	желтая	575 - 585										
	оранжевая	585 - 620										
	красная	620 - 800	1	620 - 670	250	Ка- нал 4	630 - 670	30	B4	664,5	10	Red
13			662 - 672	1000								
14			673 - 683	1000								
									B5	703,9	20	Vegetation Red Edge
15			743 - 753	1000				B6	740,2	20		
							B7	782,5	20			
ИК	ближний ИК	800 - 1300	2	841 - 876	250	Канал 5	850 - 880	30	B8	835,1	10	NIR
			16	862 - 877	1000				B8b	864,8	20	Narrow NIR
			17	890 - 920	1000							
			18	931 - 941	1000				B9	945,0	60	Water vapour
			19	915 - 965	1000							
	5	1230 - 1250	500									
средний ИК	1300 - 3500	26	1360 - 1390	1000	Ка- нал 9	1360 - 1380	30	B10	1373.5	60	SWIR - Cirrus	

Окончание таблицы 1.2

Участок оп- тических волн	Область спектра	Диапазон длин волн, нм	TERRA или AQUA(MODIS)			Landsat 8 (OLI, TIRS)			Sentinel-2A(MSI)			Наименование (eng)	
			Канал	Длина волны, нм	Разреше- ние, м	Канал	Длина волны, нм	Разреше- ние, м	Канал	Центр. длина волны, нм	Разреше- ние, м.		
	дальний (теп- ловой)	3500 - 10000	6	1628 - 1652	500	Ка- нал 6	1570 - 1650	30	B11	1613,7	20	SWIR 1 (MIR)	
			7	2105 - 2155	500	Канал 7	2110 -	30	B12	2202,4	20	SWIR 2	
			20	3660 - 3840	1000								
			21	3929 - 3989	1000								
			22	3929 - 3989	1000								
			23	4020 - 4080	1000								
			24	4433 - 4498	1000								
			25	4482 - 4549	1000								
			27	6535 - 6895	1000								
			28	7175 - 7475	1000								
			29	8400 - 8700	1000								
			30	9580 - 9880	1000								
			31	10780 - 11280	1000	Канал 10	10600 - 11190	100					Long Wavelength Infrared, TIR1
			32	11770 - 12270	1000	Канал 11	11500 - 12510	100					Long Wavelength Infrared, TIR2
			33	13185 - 13485	1000								
			34	13485 - 13785	1000								
			35	13785 - 14085	1000								
			36	14085 - 14385	1000								

Одним из методов автоматизированной обработки многозональных изображений является метод «водной маски», позволяющий на индексном изображении определять пиксели, в которых находятся водные объекты и сопоставлять их с положением магистральных трубопроводов и объектов инфраструктуры.

В процессе исследований были определены технологии ДЗЗ, которые можно рекомендовать в зависимости от объекта трубопроводного транспорта (таблица 1.3) и типа решаемой задачи (таблица 1.4).

Таблица 1.3 – Методы ДЗЗ в зависимости от типа объекта трубопроводного транспорта

Тип объекта	Масштабы	Методы ДЗЗ
Линейные объекты (трубопроводы, линии электропередачи, автодороги, вдольтрассовые проезды)	1 : 500–1 : 5 000	ВЛС, цифровая аэросъемка (ЦАФС)
Точечные объекты (запорная арматура, камеры пуска-приема СОД, здания и сооружения для обслуживания линейной части, промежуточные НПС)	1 : 100–1 : 500	НЛС, ВЛС, ЦАФС
Средние объекты (головные НПС, НПЗ, участки подводных переходов)	1 : 500–1 : 5000	НЛС, ВЛС, ЦАФС, оптико-электронная космическая съемка
Крупные объекты съемки (участки трассы с прилегающими территориями, территории перспективного развития)	1 : 10 000–1 : 25 000	ВЛС, ЦАФС, оптико-электронная космическая съемка

Таблица 1.4 – Методы ДЗЗ в зависимости от типа решаемой задачи

Тип задачи	Масштабы	Методы ДЗЗ
Дешифрирование объектов инфраструктуры МТ	1 : 100–1 : 25 000	НЛС, ВЛС, ЦАФС, оптико-электронная космическая съемка
Выявление и мониторинг опасных геологических процессов	1 : 100–1 : 25 000	ВЛС, ЦАФС, оптико-электронная космическая съемка
Мониторинг опасных природных процессов (пожары, паводки)	1 : 5 000–1 : 25 000	ЦАФС, многозональная космическая съемка
Экологический мониторинг	1 : 10 000–1 : 25 000	ЦАФС, многозональная космическая съемка

Для объектов трубопроводного транспорта (см. таблицу 1.3) в составе рекомендованных методов мониторинга чаще всего указан метод ВЛС, вместе с тем он обязательно дополняется методами аэрокосмической съемки.

Схема аэрокосмических наблюдений предполагает, что первоначально производится единовременная съемка всего объекта трубопроводного транспорта методом ВЛС совместно с аэрофотосъемкой. После этого с определенной периодичностью (от дней до месяцев) производится оптико-электронная съемка сверхвысокого разрешения. ВЛС (в зависимости от степени изменчивости объекта) повторяется от одного раза в два-три года (для трубопроводов в малонаселенных районах) до двух раз в год (в районах развития опасных инженерно-геологических процессов). Предложенная технология может быть рекомендована и для мониторинга опасных геологических процессов, таких как склоново-гравитационные, водно-эрозионные, карст, просадки, криогенные процессы.

1.2.1.2 Методы дешифрирования аэрокосмических изображений

Исследования показали, что в настоящее время основным и наиболее распространенным методом дешифрирования объектов природно-технической среды трубопроводного транспорта является визуальное дешифрирование аэрокосмических изображений. Процесс визуального дешифрирования очень трудоемок и не позволяет оперативно получить результат для протяженных территорий, поэтому необходимо развивать методы автоматизированного дешифрирования [109]. Поэтому для решения ряда задач, особенно в случае использования многозональных изображений, все чаще используют методы автоматизированного дешифрирования (рисунок 1.6).

Из используемых методов автоматизированной обработки наиболее часто применяют методы, основанные на анализе исходной яркости, а также методы, основанные на построении индексных изображений (NDVI, NDWI, MNDWI, AWEI и др.).

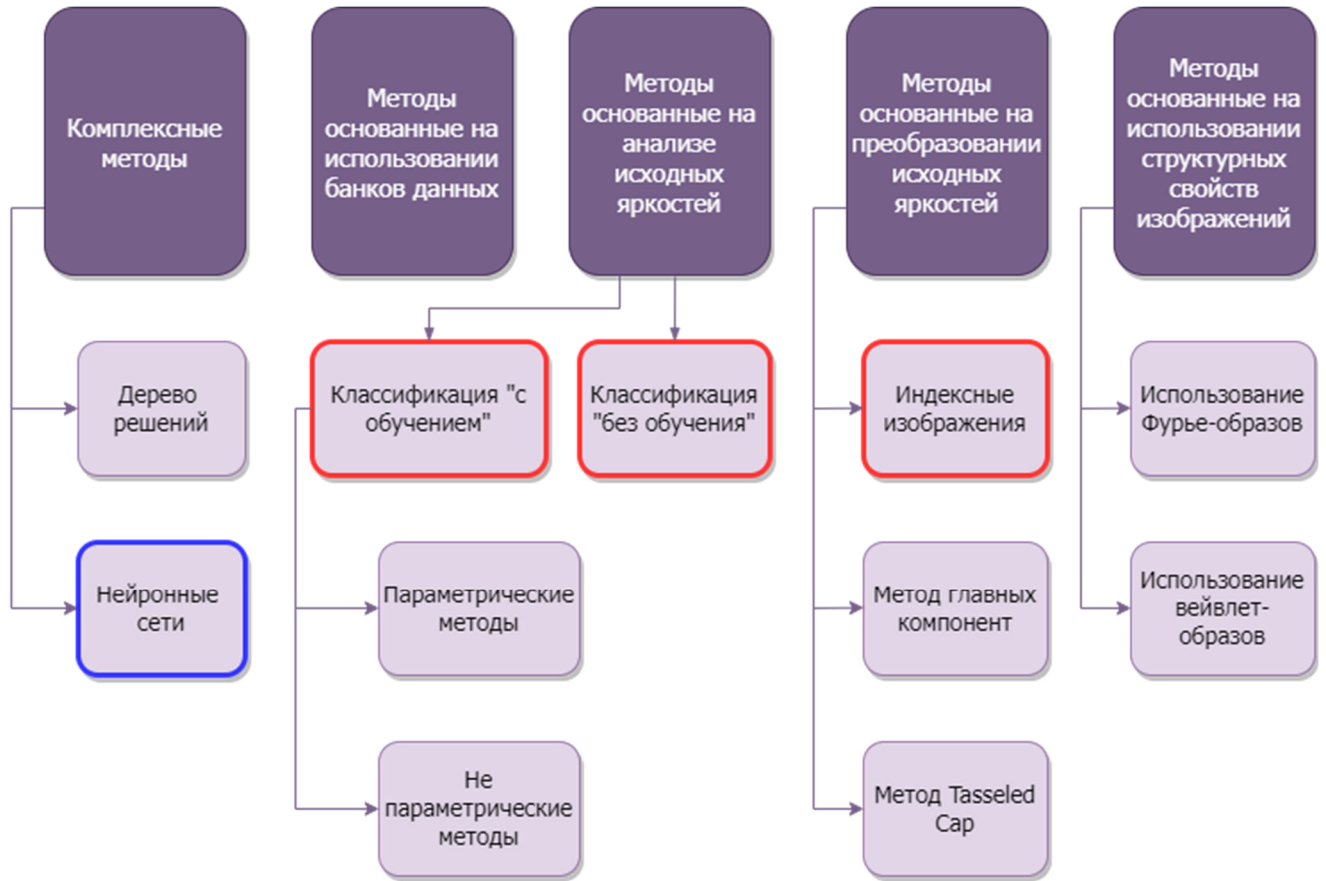


Рисунок 1.6 – Методы автоматизированного дешифрирования многозональных аэрокосмических изображений

Первые методы используются чаще при исследовании природных объектов, их классификации, например, при изучении лесов и определении их породного состава, вторые наиболее эффективны при определении границ затоплений и мониторинге пожаров.

Нельзя обойти вниманием работы по использованию нейронных сетей для автоматизированного дешифрирования зданий, сооружений, а также объектов инфраструктуры по аэрокосмическим изображениям. Эти методы позволят определить и нанести на карту сооружения в коридоре трассы, вдольтрассовые проезды, а также имеют большой потенциал при мониторинге охранных зон для задач выявления незаконного строительства и несанкционированных работ. Также перспективными являются методы дешифрирования с использованием библиотеки эталонных моделей объектов трубопроводного транспорта и ОГП.

1.2.2 Нормативно-правовое регулирование применения технологий дистанционного зондирования Земли для обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводных систем

Строительство, реконструкция и эксплуатация магистральных трубопроводов должны производиться с использованием аэрокосмических технологий на основе комплекса нормативно-технических документов. Несмотря на то, что база нормативно-технического обеспечения в настоящее время еще формируется, уже сейчас можно отметить целый ряд документов, регламентирующих работу с данными дистанционного зондирования на этапах строительства и эксплуатации.

Государственная нормативная поддержка процессов информационного обеспечения процессов проектирования и строительства трубопроводного транспорта в части использования технологий дистанционного зондирования характеризуется национальными стандартами Российской Федерации: «Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования» (ГОСТ Р 59328–2021 [41]), «Съемка аэрофото-топографическая» (ГОСТ Р 59562–2021 [42]). Государственные стандарты «Аэрофотосъемка топографическая», которые регулируют технологические процессы проектирования и выполнения топографической аэрофотосъемки, устанавливают требования к съемочному оборудованию, фотограмметрическому и фотографическому качеству получаемых материалов, в том числе по созданию цифровых топографических карт, планов, ортофотопланов, цифровых моделей рельефа, а также по обеспечению задач кадастра недвижимости необходимыми пространственными данными. Настоящие нормативные документы предусматривают использование в процессе аэрофотосъемочных работ беспилотных летательных аппаратов и высокоточных методов измерения, таких как воздушное лазерное сканирование.

Помимо этого, распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.12.2021 № 3719-р утверждена «Дорожная карта» по использованию технологий информационного моделирования при проектировании и строительстве объектов капитального строительства.

План мероприятия («Дорожная карта») по использованию технологий информационного моделирования при проектировании и строительстве объектов капитального строительства, а также по стимулированию применения энергоэффективных и экологичных материалов, в том числе с учетом необходимости их производства в Российской Федерации определяет необходимость использования технологии аэромониторинга с использованием беспилотных воздушных судов на этапах выполнения инженерных изысканий, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства, в том числе объектов трубопроводного транспорта.

«Дорожная карта» предусматривает следующий перечень мероприятий с использованием технологий аэромониторинга:

- разработку национального стандарта «Воздушное лазерное сканирование. Термины и определения. Технические требования»;

- разработку нормативного документа, регламентирующего порядок фиксации проведения мероприятий по контролю над выполнением подрядных работ с применением беспилотных авиационных систем, а также с использованием дополненной реальности;

- внесение изменений в СП 48.13330.2019 «СНиП 12-01–2004 Организация строительства» в целях обеспечения использования технологии аэромониторинга с применением беспилотных воздушных судов на этапах строительства, реконструкции, капитального ремонта и сноса объектов (в части организации строительства);

- разработку и утверждение методики определения нормативных затрат на работы по аэрофотосъемке, других специальных видов аэросъемок, мобильного и наземного лазерного сканирования на этапах выполнения инженерных изысканий, строительства и эксплуатации объекта капитального строительства с применением беспилотных летательных аппаратов;

- подготовку предложений по разработке документа, регулирующего порядок выполнения аэромониторинга и аэросъемочных работ, включая порядок получения разрешений на проведение аэромониторинга и аэросъемочных работ, про-

смотра полученных данных и использования его результатов в производственно-хозяйственной деятельности, отвечающего современным требованиям развития науки и техники в области дистанционного зондирования Земли, в том числе с применением беспилотной техники;

- подготовку предложений по разработке автоматизированных инструментов для проведения проверки исполнительной документации;

- подготовку предложений по разработке документов по стандартизации в сфере создания и использования геоинформационной системы при проектировании, строительстве и эксплуатации.

В разрабатываемых нормативных документах должен быть определен порядок проведения мероприятий по контролю над выполнением строительно-монтажных работ с применением беспилотных летательных аппаратов. Внесение изменений в СП 48.13330.2019 «СНиП 12-01–2004 Организация строительства» позволит использовать технологии аэросъемки с применением беспилотных воздушных судов на этапах строительства, реконструкции, капитального ремонта и сноса объектов трубопроводного транспорта. В результате выполненных мероприятий будут упрощены механизмы взаимодействия с органами местного самоуправления, определен порядок освидетельствования территории производства работ и порядок предоставления данных, обеспечена возможность оперативного использования получаемой информации на различных этапах производства работ и жизненного цикла объекта, в том числе на этапах предпроектного обследования, инженерных изысканий, контроля строительно-монтажных работ. Также появится возможность оперативного, в том числе в режиме реального времени, получения и применения результатов аэрокосмического мониторинга на объектах добычи, транспорта и хранения газа, нефти и нефтепродуктов эксплуатирующими организациями.

Помимо государственных нормативных документов, следует отметить ряд отраслевых документов, которые определяют порядок использования средств дистанционного зондирования при мониторинге объектов трубопроводного транс-

порта в процессе эксплуатации в местах повышенной опасности, в сложных природно-климатических условиях, условиях вечной мерзлоты, местах перехода через водные преграды и т. п. Это такие документы, как РД-23.040.00-КТН-0034-20. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Геотехнический мониторинг. Общие положения, ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02. Регламент технической эксплуатации переходов магистральных нефтепроводов через водные преграды и др.

В отраслевых институтах разработан большой перечень нормативных документов, регулирующий использование технологических и технологических решений ДЗЗ, а также требования к качеству производимых измерений и составу собираемой информации.

В качестве материала для исследования использовались нормативные документы (ГОСТ 31385–2016; РД 03-606-03; РД-23.040.00-КТН-0034-20; СП 365.1325800.2017; СП 22.13330; СП 305.1325800; СП 25.13330; ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02), публикации из открытых источников [4, 5, 27, 48, 52, 56, 59, 61–63, 75, 78, 79, 87, 105, 128, 150, 192, 219], а также результаты исследований природно-технической среды трубопровода, полученные различными средствами при мониторинге магистрального трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» [147, 173–175].

В процессе анализа были рассмотрены производственные задачи, возникающие в процессе эксплуатации трубопроводных систем, которые могут быть эффективно решены с использованием современных технологий дистанционного зондирования Земли (таблица 1.5).

В существующей нормативной документации не всегда явно говорится о необходимости использования средств аэрокосмического мониторинга. Вместе с тем уровень технических средств, их доступность и разработанное программное обеспечение позволяют успешно решать задачи мониторинга именно с использованием средств дистанционного зондирования, дополняя и в какой-то части заменяя классические геодезические методы измерений.

Таблица 1.5 – Технические и технологические решения ключевых задач мониторинга трубопроводных систем

Задача мониторинга	Нормативный документ	Допустимая ошибка	Площадь съемки	Технические и технологические решения
Мониторинг геометрии резервуаров (анализ деформаций)	ГОСТ 31385-2016 СП 365. 1325800.2017 РД 03-606-2003	до 5 мм	Резервуарные парки	НЛС в комплексе с методами создания трехмерных цифровых моделей для оценки геометрии конструкций
Геотехнический мониторинг магистральных трубопроводов Оценка текущего состояния трубопроводов и площадочных объектов	РД-23.040.00-КТН-0034-20 ГОСТ 24846	до 5 см	Вдоль трассы в зонах со сложными геологическими условиями	ЦАФС и ВЛС с использованием местных геодезических сетей для повышения точности измерений. Использование устройств определения высоты (УОВ) при подземной прокладке трассы; и методов работы с системой линейных координат (СЛК) для локализации дефектов. Моделирование геопространства территорий
Регулярный мониторинг строительных и ремонтных работ	СП 305.1325800 СП 22.13330	до 5 см	На территорию строительства	ВЛС совместно с ЦАФС в комплексе с геодезическими методами. Формирование единого геопространства для анализа «план-факт»
Выявление и мониторинг ОВП, включая эрозию, карст, оползневые и осыпные склоновые процессы, суффозию, солифлюкцию. Картографирование в масштабе 1 : 500; 1 : 1 000, 1 : 2 000	РД-23.040.00-КТН-0034-20 РД-91.020.00-КТН-245-14 ГКИНП-02-033-82 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5 00–1 : 5000	от 0,4 до 2 м Средние погрешности положения объектов дешифрирования 0,75 мм в масштабе плана/карты	Ширина полосы съемки и камеральной обработки данных ВЛС не менее 150 м (75 м вправо и влево от оси трубопровода)	ВЛС и ЦАФС. Характеристики съемки для масштаба: 1 : 500 разрешение изображений на местности от 5–7 см; плотность точек ВЛС от 5 до 9 на 1 м ² М 1 : 1 000: разрешение изображений на местности от 7 до 10 см; плотность точек ВЛС от 3 до 5 на 1 м ² М 1 : 2 000: разрешение изображений от 10 до 15 см; плотность точек ВЛС от 2 до 3 точек на 1 м ²
Определение технического состояния береговых участков Мониторинг паводковой обстановки	ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02 ГКИНП-02-033-82 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5 00 - 1 : 5000	от 0,4 до 2 м в плане до 17 см по высоте от 2 до 4 м	Участок подводного перехода магистрального нефтепровода (100 м выше и ниже створа перехода)	ЦАФС участков подводных переходов магистрального нефтепровода через водную преграду Космическая съемка высокого пространственного разрешения при мониторинге паводков. Методы автоматизированного дешифрирования многозональных изображений

Для существенной части задач предпочтительной является съемка с использованием беспилотных летательных аппаратов [117]. Помимо этого, следует отметить большие перспективы применения технологий воздушного лазерного сканирования, эффективность которых будет возрастать с развитием средств автоматизированной обработки материалов сканирования территорий.

1.2.3 Анализ потребностей в данных дистанционного зондирования Земли, геопространственной информации и геопространственных моделях при решении производственных задач трубопроводного транспорта

В процессе исследований установлено, что аэрокосмические исследования природно-технических систем магистральных нефтепроводов — это вид деятельности по удовлетворению производственных потребностей в данных дистанционного зондирования для территорий прохождения трасс трубопроводного транспорта, включающий сбор данных аэрокосмическими методами, обработку материалов съемки, моделирования объектов геопространства и протекающих процессов для обеспечения строительства и эксплуатации.

Задачами исследований является удовлетворение производственных потребностей в данных дистанционного зондирования, включая пространственные данные, в интересах безопасной эксплуатации трубопроводных систем.

Методы наблюдения, периодичность проведения мониторинга, ширина полосы съемки, требования к точности определяются задачами, нормативными документами и внутренними отраслевыми инструкциями (см. табл. 1.5). Потребности в геоинформационных технологиях и геопространственной информации очень разнообразны и связаны с решаемыми подразделениями производственными задачами.

Все чаще для решения задач обращаются к данным дистанционного зондирования Земли как наиболее информативному источнику объективной и актуальной информации о состоянии природно-территориальных комплексов трубопроводного транспорта.

Можно выделить три уровня требований к данным аэрокосмических исследований: 1) пользовательские, 2) «объектовые» и 3) первичные (рисунок 1.7).

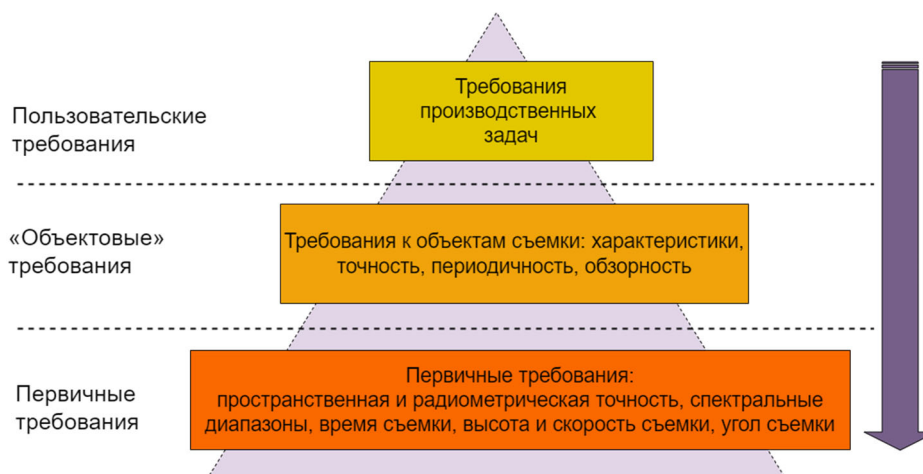


Рисунок 1.7 – Иерархия требований к аэрокосмической информации

Установлено, что на пользовательском уровне к данным ДЗЗ предъявляют требования в разрезе решаемых производственных задач. Например, в соответствии с ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02 «Регламент технической эксплуатации переходов магистральных нефтепроводов через водные преграды» границы обследования подводного перехода магистрального нефтепровода составляют 100 м выше и ниже створа перехода и не менее 25 м от крайних ниток перехода (таблица 1.6).

В рамках работ проводится в том числе оценка технического состояния береговых участков, определяются координаты трубопровода и обнаруженных при осмотре береговых участков оврагов, обрушений (обвалов) грунта вдоль берега, оползней, промоин, провалов и пучений грунта.

Таблица 1.6 – Границы обследования подводных переходов МН

Вид обследования ППМН	Русловая часть		Береговая часть
	выше створа перехода	ниже створа перехода	
В период строительства и ремонта	100 м	100 м	В границах строительства (ремонтруемого участка)
Периодическое (частичное и полное)	100 м	100 м	В границах ППМН, но не менее 50 м от уреза воды полоса шириной 25 м от оси крайних ниток перехода (рисунок 1.8)

Картографирование береговых участков производится в масштабах 1 : 500 – 1 : 5 000 с точностью, регламентированной ГКИНП-02-033-82 «Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 500–1 : 5 000» [38], в которой говорится, что погрешности положения объектов дешифрирования должны составлять не более 0,75 мм в масштабе плана/карты, то есть от 0,4 до 4 м. Таким образом нормативные требования позволяют использовать средства цифровой аэросъемки для обследования береговых участков.

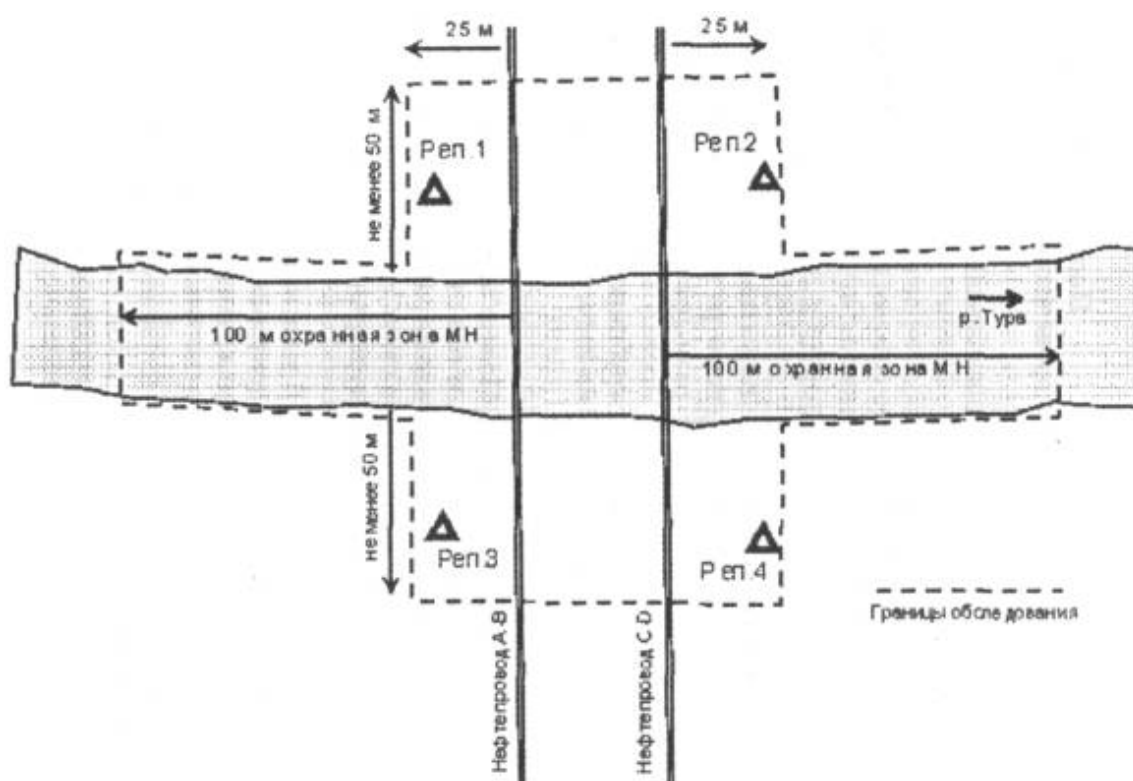


Рисунок 1.8 – Границы обследования подводного перехода МН

Совокупность получаемых характеристик объектов мониторинга, а также необходимые точность, периодичность и обзорность составляют «объектовые» требования. Требования к данным на «объектовом» уровне лежат в основе первичных требований. К первичным требованиям относятся требования к возможностям аппаратуры, установленной на носителе (БПЛА, самолет, вертолет, космический аппарат), пространственная и радиометрическая точность, спектральные диапазоны, периодичность съемки, а также требования к методам съемки.

В сводной таблице 1.7 приводятся требования к материалам дистанционного зондирования Земли для решения задач трубопроводного транспорта на «объектовом» уровне, а также первичные требования к данным ДЗЗ.

Таблица 1.7 – Требования к материалам дистанционного зондирования Земли для решения задач трубопроводного транспорта на «объектовом» уровне

Производственная задача	Требования к данным ДЗЗ на пользовательском уровне	Требования к данным ДЗЗ на объектовом уровне		
		обзорность	точность	периодичность
Мониторинг изменений в коридорах трассы	Использование материалов космической сверхвысокого пространственного разрешения для мониторинга изменений в коридорах трассы, в том числе: – визуальное сопоставление нескольких космических снимков на одну и ту же территорию на различные даты; – автоматизированное распознавание появления, исчезновения или изменения конкретных классов объектов на территории мониторинга	не менее 100 м	0,5–1,0 м и лучше в зависимости от объекта мониторинга	регулярный мониторинг
Контроль выполнения строительных и ремонтных работ	Регулярный мониторинг строительных и ремонтных работ, выполняемых на объектах строительства и реконструкции с использованием материалов аэрофотосъемки, лазерной и радиолокации (с использованием БПЛА). Сопоставление фактических результатов работ с проектными решениями	на территорию мониторинга	10 см и лучше	регулярный мониторинг
Подготовка материалов инженерных изысканий	Использование материалов космической съемки сверхвысокого пространственного разрешения для предварительного выбора вариантов и площадок; подготовки картографического материала для целей предпроектного обследования, подготовки задания на инженерные изыскания, подготовки обзорных карт	на территорию обследования	0,5–1,0 м и лучше	актуальность не более 1 месяца
Мониторинг охранной зоны МТ и зон минимально допустимых расстояний	Периодический мониторинг с использованием средств аэромониторинга: – зоны минимально-допустимых расстояний (выявление ведения работ в зоне минимально-допустимых расстояний, нарушений, в том числе: разбивка садов, расположение полевых станов, скирд соломы и сена; возведение различных зданий и сооружений); – охранной зоны трубопроводов; – линейной запорной арматуры; – переходов через водные преграды; – воздушных переходов через водные преграды, овраги, ручьи; – защитных противопожарных сооружений; – линий электропередачи и связи; – вдольтрассовых дорог, проездов, мостов, дамб через ручьи и овраги, переездов через трубопровод и др.	Трасса нефтепровода около объектов в зонах минимальных расстояний, а также охранная зона трубопровода	5–20 см	один раз в квартал

Продолжение таблицы 1.7

Производственная задача	Требования к данным ДЗЗ на пользовательском уровне	Требования к данным ДЗЗ на объектовом уровне		
		обзорность	точность	периодичность
Определение зон подтопления во время паводков и паводков	Использование материалов космической съемки высокого пространственного разрешения для оперативного определения зоны подтопления во время паводков и паводков	5–10 км от оси трубопровода в местах пересечения с водными объектами	1,0–3,5 м	ежедневно в паводковый период
Контроль уровня воды на переходе магистрального трубопровода через водную преграду	Использование данных ДЗЗ в комплексе с данными о рельефе и данными с водомерных постов для решения задачи мониторинга паводковой ситуации и прогнозирования возможного затопления объектов МТ с учетом критических уровней водных объектов для каждого участка МТ	зона перехода через водную преграду	космическая съемка: 0,5 м, аэросъемка: 0,1 м	в соответствии с регламентом технической эксплуатации переходов через водные преграды
Мониторинг зарастания охранной зоны	Использование материалов космической съемки при мониторинге зарастания охранной зоны трубопровода. Выявление и картирование участков охранной зоны трубопровода с древесно-кустарниковой растительностью. Используемые технологии съемки: космическая съемка высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, аэрофотосъемка, ВЛС	не менее 100 м	0,5–1,0 м	от одного до нескольких периодов съемки в год
Выявление и мониторинг опасных экзогенных природных процессов	Выявление, мониторинг и оценка динамики развития негативных экзогенных природных процессов в пределах коридоре трассы трубопровода: эрозия, карст, оползневые и осыпные склоновые процессы, суффозия, солифлюкция	территория мониторинга	6 см	от одного до нескольких периодов съемки в год
Мониторинг трассы МТ на пересечениях с технологическими коммуникациями	Мониторинг трассы нефтепровода на пересечениях с технологическими коммуникациями по данным ДЗЗ	Трасса нефтепровода на пересечениях с технологическими коммуникациями	космическая съемка: 0,5 м, АФС: 0,1 м и лучше	один раз в квартал
Мониторинг надземных переходов через естественные и искусственные препятствия	Аэрокосмический мониторинг надземных переходов через естественные и искусственные препятствия	Надземные переходы через естественные и искусственные препятствия	космическая съемка: 0,5 м, АФС: 0,1 м и лучше	весна – после паводка, лето – в период максимальных температур, зима – в период минимальных температур
Мониторинга подземных переходов через естественные и искусственные препятствия	Аэрокосмический мониторинг подземных переходов через естественные и искусственные препятствия	Подземные переходы через естественные и искусственные препятствия	космическая съемка: 0,5 м, АФС: 0,1 м и лучше	весна, осень
Задачи промышленной и экологической безопасности	Использованием материалов аэрокосмической съемки оперативного обнаружения мест утечек нефтепродуктов; оценки близости и опасности поражения для сотрудников и гражданских лиц; контроля за соблюдением нормативных требований и воздействия на окружающую среду; планирования и проведения природоохранных мероприятий; мониторинга процессов рекультивации	территория мониторинга	космическая съемка: 0,5 м, АФС: 0,1 м и лучше	от одного до нескольких периодов съемки в год

Окончание таблицы 1.7

Производственная задача	Требования к данным ДЗЗ на пользовательском уровне	Требования к данным ДЗЗ на объектовом уровне		
Задачи обеспечения безопасности и охраны	Использование материалов с бортов пилотируемых и беспилотных воздушных судов для получения оперативной и детальной информации об объектах трубопровода	200 м	6–10 см	в соответствии с регламентом
Космический мониторинг пожарной обстановки	Мониторинг пожарной обстановки с использованием данных ДЗЗ предназначен для своевременного выявления потенциальных рисков. Определение потенциальных участков возгорания осуществляется с использованием сенсоров, выполняющих съемку в тепловом диапазоне	территория мониторинга	250–500 м	2 раза в сутки (в пожароопасный сезон – с апреля по октябрь)
Построение карт смещений земной поверхности	Карты смещения земной поверхности строятся по материалам космической радиолокационной съемки и показывают смещения земной поверхности с точностью до 0,5 см	территория мониторинга	4–5 мм	4 раза в год
Создание трехмерных цифровых моделей местности	Построение трехмерных цифровых моделей по материалам ВЛС или цифровой аэросъемки для задач моделирования разливов нефти, проведения внутренней экспертизы проектной и рабочей документации, выявления ОПГ	территория исследования	0,1–0,5 м и лучше	2 раза в год

В процессе исследований были выявлено, что территории, обеспечиваемые материалами ДЗЗ, включают линейную часть трубопроводов, площадные объекты, а также соответствующие зоны интересов: охранные зоны, зоны минимально допустимых расстояний, иные буферные зоны в зависимости от конкретных прикладных задач. Помимо этого, данными ДЗЗ должны обеспечиваться зоны проектируемых и строящихся объектов.

1.3 Анализ современных технологий обработки данных ДЗЗ и геопространственного моделирования природно-технических систем

В соответствии с принципом преемственности разработка новых технологий дистанционного зондирования, технологий и методов геопространственного моделирования, как, впрочем, и любых других, должна основываться на опыте предшествующих работ в данном направлении исследований. Научное обоснование, методологическая база разработки и совершенствования технологий, последующая разработка новых технологий, обеспечивающих получение информации для обеспечения геопространственного моделирования природно-технических систем, со-

ставляющих единую трубопроводную сеть страны с целью обеспечения ее бесперебойного и безопасного функционирования, предполагает детальное изучение существующих перспективных и уже апробированных технологий дистанционного зондирования и геопространственного моделирования, а также поиск путей их качественного улучшения [35, 39, 53–58, 64, 65, 72, 92, 93, 98, 108, 129, 130, 136, 137, 142, 144, 151–153, 157, 166, 177, 179, 180, 205–208, 221, 222, 225, 226, 239 и др.].

В связи с этим были проанализированы проверенные временем и современные технологические решения аэрокосмического мониторинга природно-технических систем российских и зарубежных исследователей [6, 19, 100, 101, 131, 168, 190, 220, 236, 249, 253, 254, 267 и др.].

В процессе работы были проанализированы технологии дистанционных исследований природно-технических систем, из которых наиболее перспективными являются технологии лазерного сканирования. В том числе проведен анализ технологий:

- построения трехмерных цифровых моделей и создания цифровых топографических планов по данным лазерного сканирования;
- комплексного мониторинга застраиваемых территорий с использованием методов автоматизированного дешифрирования аэрокосмических изображений методов геопространственного моделирования с построением ЦМР и ЦММ для анализа изменений;
- обновления цифровой топографической продукции по аэрокосмическим изображениям среднего, высокого и сверхвысокого разрешения видимого диапазона с использованием цифровых моделей для обновления информации о рельефе.

1.3.1 Технологии проведения лазерного сканирования для построения трехмерных цифровых моделей

Представленная на рисунке 1.9 технологическая схема получения и обработки данных лазерного сканирования учитывает особенности всех лазерных съемок: воздушной, мобильной и наземной. Отличительной особенностью данных мобильного и воздушного лазерного сканирования от наземного является то, что пер-

вые получают в движении, а последнее – в стационарном положении [96]. Вследствие этого при мобильном и воздушном лазерном сканировании каждый элемент изображения имеет свои индивидуальные элементы внешнего ориентирования, в то время как в наземном сканировании они едины для сканерной станции.

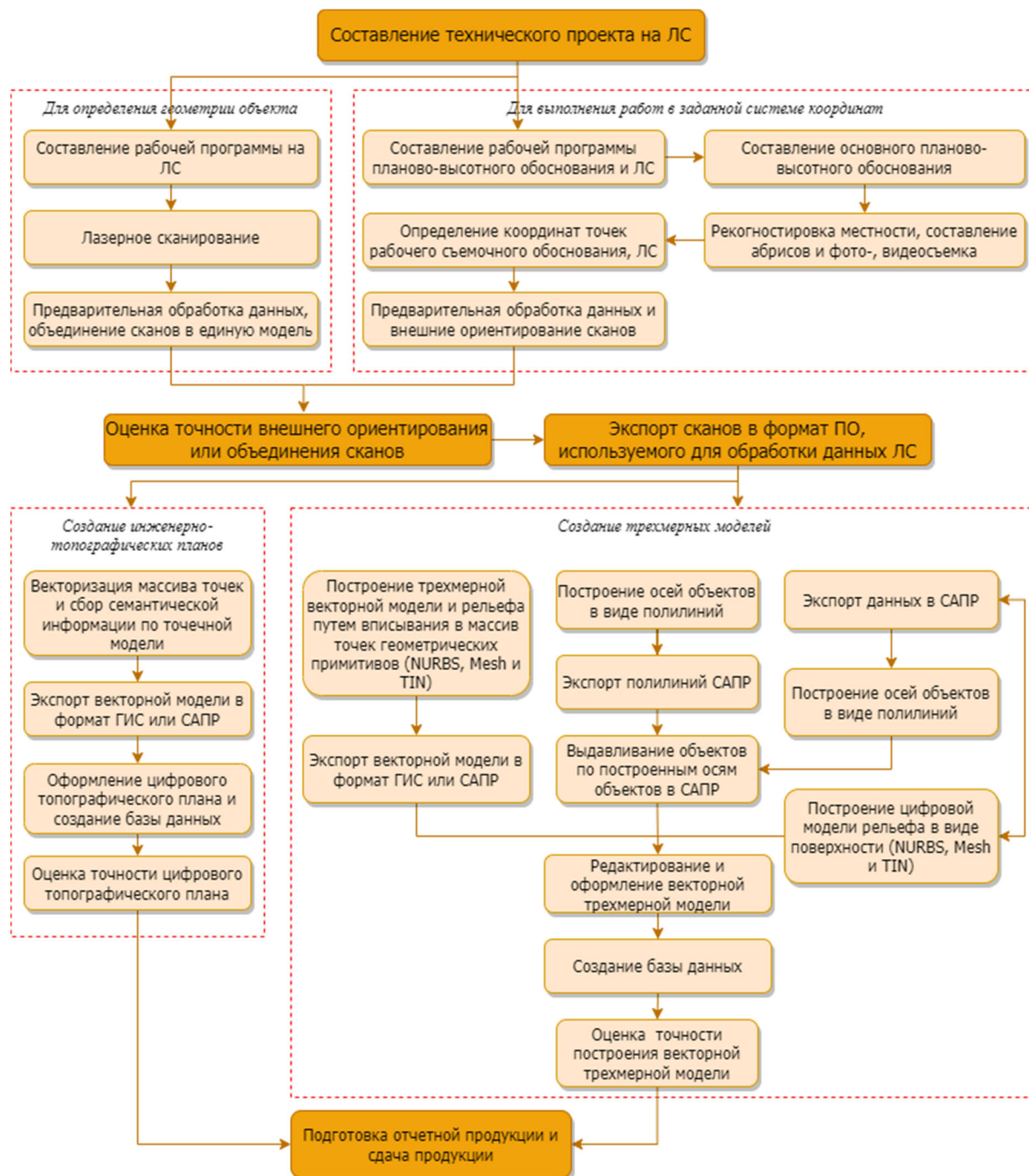


Рисунок 1.9 – Технологическая схема лазерного сканирования территорий для построения трехмерных моделей местности и создания цифровых топографических планов

Технологические решения, применяемые в фотограмметрическом и геодезическом производствах и, в частности, при проведении работ по наземному лазерному сканированию, разделяются на четыре основных этапа: организационно-сметный, полевой, камеральный, оформительско-сдаточный. Детальное описание особенностей выполнения работ по наземному лазерному сканированию приведено в диссертации Комиссарова А. В. [96].

Порядок создания трехмерных моделей по данным лазерного сканирования

На рисунке 1.10 приведена технология создания трехмерных реалистичных сцен территорий по данным воздушного лазерного сканирования и цифровым снимкам. Данная технология может применяться на всех этапах строительства объектов трубопроводного транспорта, для информационного обеспечения большого перечня производственных задач. Описание технологий создания ортофотопланов, планов и трехмерных моделей приводится в работах Широковой Т. А. и Антипова А. В. [213–215].

После получения данных ЦАФС и ВЛС приступают к их предварительной обработке. После выполнения радиометрической, атмосферной, геометрической коррекций, ортотрансформирования, улучшения качества изображений можно приступить к обработке данных аэрокосмических съемок с данными лазерного сканирования.

Для предварительной обработки существует большое количество инструментов в составе различного геоинформационного программного обеспечения (TerraSolid, Cloud Compare, MeshLab, ГИС «Панорама», напрямую файлы с расширением .las читает ArcGIS и др.).

После проведения всех необходимых операций предварительной обработки выполняется исключение всех ошибочных лазерно-локационных точек, выпадающих за пределы поверхностей моделей объектов, и строится цифровая трехмерная модель с использованием ТЛЮ: производится автоматическое выделение лазерных

точек земной поверхности, уравниваются данные ВЛС, исключаются грубые ошибки выявления на основе автоматической классификации класса «Земля», ортотрансформирование снимков и создание ортофотопланов, построение трехмерных моделей ситуации по ТЛО объектов, оценка точности ЦМР и моделей объектов, сбор и подготовка текстур, текстурирование моделей.

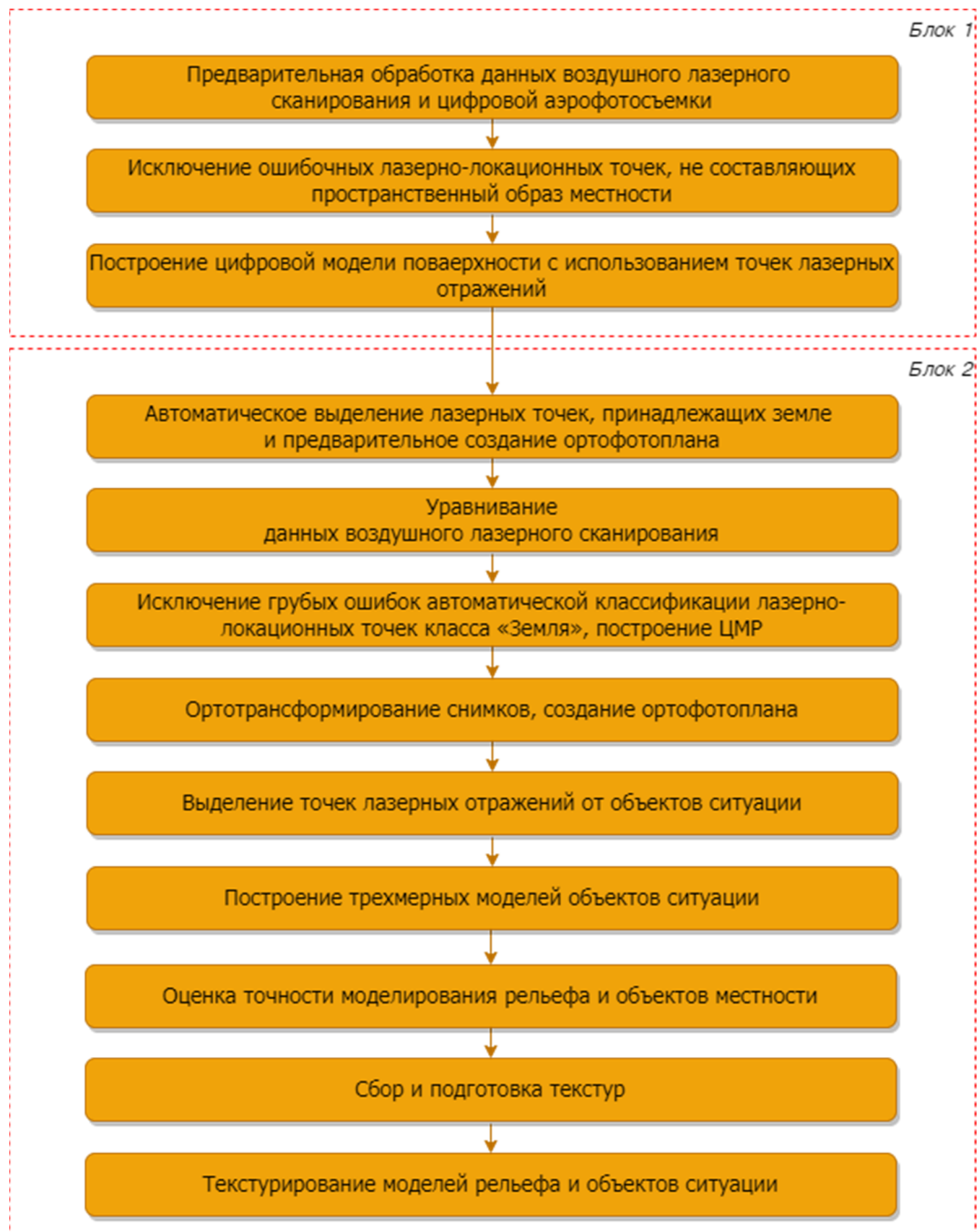


Рисунок 1.10 – Методики создания трехмерных моделей по данным лазерного сканирования

1.3.2 Технологическая схема комплексного мониторинга застроенных территорий с использованием методов дешифрирования аэрокосмических изображений

Технология мониторинга застраиваемых территорий, позволяющая выявлять структуру и динамику застройки, структуру взаимодействия компонентов природно-технических систем на основе картографирования по данным ДЗЗ, разработана в работах Беленко В. В. [16, 17]. Применение технологии обеспечивает рациональное использование земель в рамках градостроительной деятельности. Разработанный комплекс методик автоматизированной обработки космических изображений нацелен на обеспечение информационного сопровождения деятельности по развитию застраиваемых территорий. Изученная технология картографического обеспечения мониторинга земель застраиваемых территорий определенным набором карт, создаваемых с помощью ГИС-технологий, на основе дешифрирования аэрокосмических изображений (рисунок 1.11), позволяет составлять графическую документацию для более корректной разработки генеральных планов застраиваемых территорий, в том числе может использоваться при проектировании строительства трубопроводных систем.

При проведении комплексного мониторинга застроенных территорий по данным аэрокосмической съемки первоочередными задачами исследования являются анализ имеющихся картографических материалов территории, а также выполнение визуального дешифрирования объектов на полученных разномасштабных аэрокосмических изображениях с целью выявления изменений, произошедших со времени последней съемки. Предварительная обработка космических снимков, построение ЦМР и ЦММ позволяет привести данные ДЗЗ в форматы, пригодные для работы с ними с использованием геоинформационных технологий. Последующая обработка данных в среде ГИС позволяет выполнять автоматизированное тематическое дешифрирование и выделять посредством индексации, классификации, градиентной фильтрации и других преобразований объекты трубопроводной инфраструктуры и обнаруживать изменения на поверхности Земли, которые являются признаками различных природных процессов. Дальнейшие преобразования – векторизация, ге-

нерализация векторного слоя, совмещение полученных данных с имеющимися картографическими изображениями – позволяют получить актуализированные картографические изображения, позволяющие оценивать состояние объектов аэрокосмического мониторинга.



Рисунок 1.11 – Технологическая схема комплексного мониторинга застроенных территорий по данным аэрокосмической съемки

1.3.3 Технологические схемы дешифрирования аэрокосмических изображений для создания и обновления геопространственной информации

Создание и обновление цифровых топографических карт крупного масштаба производятся на основании материалов космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения и аэроснимков видимого диапазона (рисунок 1.12). Топографические карты масштаба 1 : 10 000, планы масштабов 1 : 5 000 и 1 : 5 000, фотопланы и ортофотопланы этих же масштабов обычно создаются на основе дешифрирова-

ния снимков видимого диапазона, которые должны быть в два раза крупнее результирующего изображения. Для повышения качества карт, создаваемых на основе геопространственной информации, как правило, используют дополнительные материалы: сведения о координатах опорных точек, ЦМР, топопланы масштабов 1 : 500 и 1 : 1 000. При улучшении топопланов и карт также проводят полевые измерения (ГНСС, тахеометрические съемки).

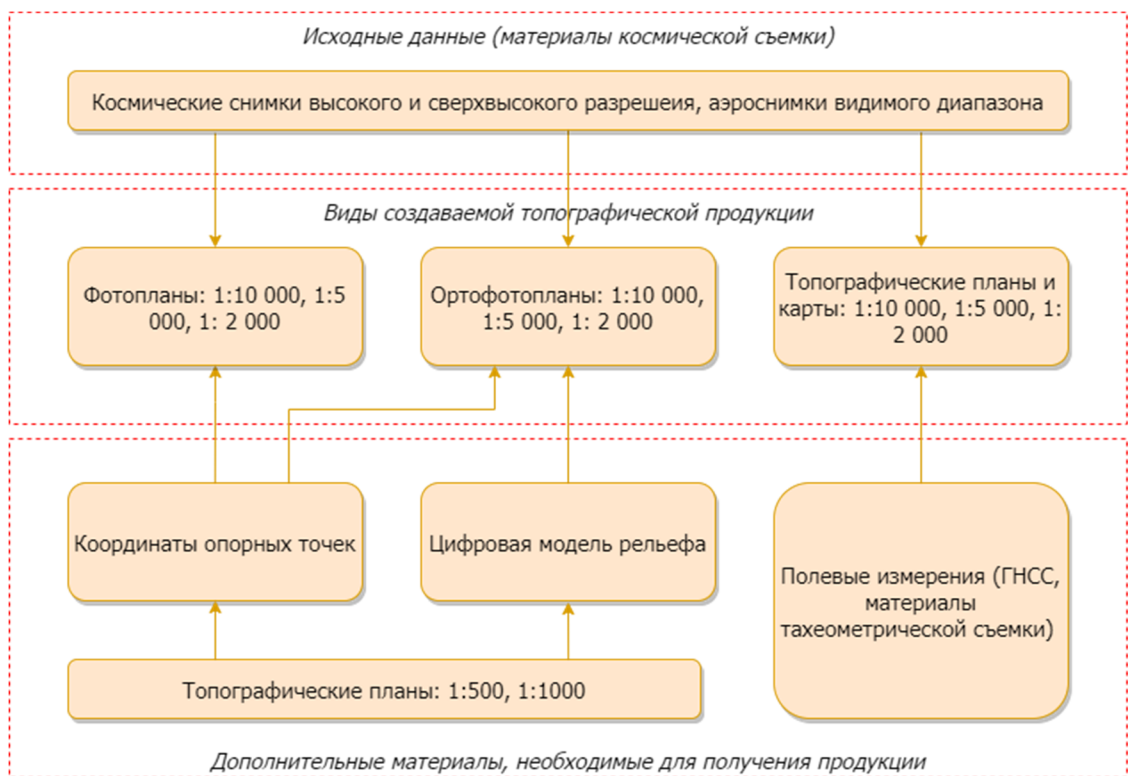


Рисунок 1.12 – Технологическая схема создания и обновления цифровой топографической продукции по космическим снимкам высокого и сверхвысокого разрешения видимого диапазона

Цифровые топографические карты и планы обновляют на основании дешифрирования космических и аэроснимков видимого диапазона (рисунок 1.13). Координаты опорных точек, имеющиеся на существующих топографических планах, переносятся на новое изображение. Для совмещения основного снимка высокого разрешения с фрагментом снимка сверхвысокого разрешения производится предварительное трансформирование или ортотрансформирование. После дешифрирования недостающие объекты наносятся на обновленные топографические карты или планы.



Рисунок 1.13 – Технологическая схема обновления цифровой топографической продукции по аэрокосмическим изображениям видимого диапазона

1.3.4 Постановка проблем направления исследований в области технологий аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования систем трубопроводного транспорта

В качестве одного из системных подходов к рассмотрению развития технологий аэрокосмических исследований территорий трубопроводного транспорта может быть принята популярная идея инновационного развития – концепция технологических укладов. Концепция была предложена в России академиками Львовым Д. С. и Глазьевым С. Ю. и получила свое развитие в трудах ученых Сибирской государственной геодезической академии по направлениям картографии и геоинформатики [114]. С этих позиций могут быть рассмотрены и вопросы современного состояния и перспективы развития технологий аэрокосмических исследований природно-технических систем трубопроводного транспорта, осуществлено прогнозирование и определены задачи и место технологий ДЗЗ в предстоящем шестом технологическом укладе (таблица 1.8).

Таблица 1.8 – Изменение характеристик информационного обеспечения трубопроводного транспорта в различные периоды технологических укладов данными ДЗЗ (по [114] с дополнениями)

Номер и доминирующий период технологического уклада	Характеристики использования аэрокосмических технологий при исследовании природно-технических систем трубопроводного транспорта	
	Технологическое ядро	Ключевые факторы
5 1980–2025	<p>Получение и обработка пространственных данных с использованием программных средств и электронных устройств</p> <p>Цифровая картография</p> <p>Интернет-картография</p> <p>Создание единой инфраструктуры пространственных данных</p> <p>Отображение рельефа в цифровой форме</p>	<p>Цифровые и электронные карты, использование данных ДЗЗ при создании и обновлении карт</p> <p>Геоинформационные системы (ГИС)</p> <p>Базы данных ДЗЗ, ГИС-порталы</p> <p>Аэрокосмическая информация о коридорах трассы и площадочных объектах</p> <p>Материалы лазерного сканирования (НЛС, ВЛС) объектов транспорта</p> <p>Расширение круга потребителей аэрокосмической информации среди специалистов компаний и лиц, не имеющих специальной подготовки за счет понятного интерфейса</p> <p>Построение корпоративных ГИС-порталов на базе клиент-серверной архитектуры</p> <p>Использование БПЛА при проведении аэро-съемочных работ</p>
6 2025–2065	<p>Трехмерное, анимационное и мультимедийное картографирование</p> <p>Создание и ведение единого геоинформационного пространства</p> <p>Автоматизация получения геоинформации и составления карт в режиме реального времени</p> <p>Автоматическое сопоставление пространственной информации за разные периоды и полученной из разных источников</p>	<p>Цифровые модели ОКС трубопроводного транспорта в статике и динамике (3Di 4D), построенные по данным лазерного сканирования и цифровой аэросъемки</p> <p>Мероприятия по контролю над выполнением подрядных работ с применением БПЛА, а также с использованием систем дополненной реальности</p> <p>Аэромониторинг с использованием БПЛА на этапах выполнения инженерных изысканий, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства в режиме реального времени</p> <p>Мониторинг природно-технической среды с использованием средств автоматизированной обработки аэрокосмических изображений</p>

Характеризуя текущее состояние технологий аэрокосмических исследований, следует отметить, что существенно расширились объемы и сферы использо-

вания материалов дистанционного зондирования специалистами компаний. Можно отметить следующие особенности:

- аэрокосмическое изображение используется как непосредственный источник информации и обеспечивает визуализацию других пространственных данных, выступая в качестве картографической основы;

- продукты, получаемые на основе данных ДЗЗ, ориентированы уже не только на удовлетворение потребностей узкого перечня специалистов, но и на широкий круг сотрудников без профильного образования и специальной подготовки;

- появилось большое число сервисов и служб, в том числе в сети Интернет, которые существенно расширили перечень услуг по доступу к данным дистанционного зондирования Земли и производным продуктам (сервисы пожаров, паводковой обстановки); развитие ГИС-порталов, обеспечивает доступ к пространственным данным, в том числе материалам аэросъемок и космическим снимкам;

- широкое распространение получили БПЛА, съемочные системы, а также средства обработки материалов съемки;

- начали развиваться новые технологические направления использования данных ДЗЗ – трехмерные информационные модели, ведутся работы по созданию трехмерных моделей объектов трубопроводного транспорта по данным, полученным с использованием БПЛА и технологий лазерного сканирования, что уже можно рассматривать как научно-технический задел для будущего шестого технологического уклада.

Для решения текущих задач с использованием материалов ДЗЗ используются: многозональные космические и радиолокационные изображения, материалы цифровой аэросъемки, а также данные наземного и воздушного лазерного сканирования (рисунок 1.14).

Появление новейших методов сбора и обработки данных (цифровая аэросъемка с использованием БПЛА, лазерное сканирование с воздуха, средства автоматизированной обработки материалов съемки) требует постоянного проведения исследований того, как указанные методы могут изменить и улучшить информаци-

онное обеспечение задач, решавшихся ранее альтернативными методами. Комплексирование этих методов позволяет нивелировать недостатки одних технологий за счет преимуществ других.

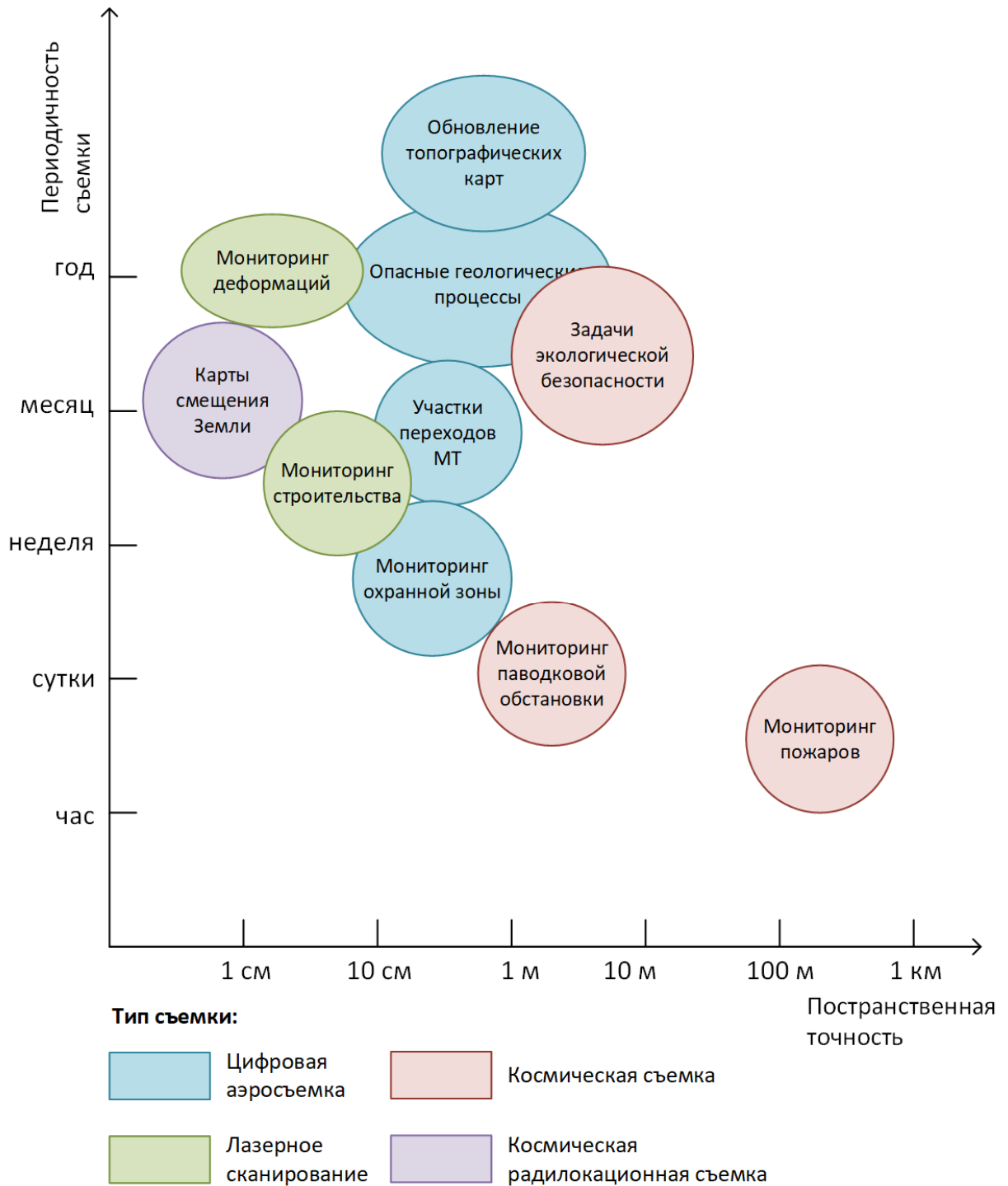


Рисунок 1.14 – Пространственно-временная диаграмма технологий дистанционного исследования, применяемых в трубопроводном транспорте

На фоне роста внимания к проблемам цифровизации, эффективного использования технологий дистанционного зондирования информационного моделирования мы видим повышение требований к информационному обеспечению процессов строительства и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта. Поэтому настоящее исследование направлено на разработку современных комплексных подходов к использованию материалов дистанционного мониторинга для обеспечения задач, возникающих в процессе строительства и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта, в том числе в части разработки методологий выполнения работ на основе данных лазерной локации, космической и цифровой аэро съемки по дешифрированию объектов инфраструктуры магистральных трубопроводов, выявлению и мониторингу опасных геологических процессов с целью обеспечения строительства и безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов.

Выводы по первому разделу

В процессе научного исследования обосновано, что при выполнении аэрокосмических исследований магистральных трубопроводов (МТ) целесообразно использовать геопространственные модели технологических объектов и природных процессов при решении широкого круга научных и производственных задач. Анализ показал, что результатами аэрокосмических исследований магистрального трубопровода являются: данные ДЗЗ, пространственная информация, пространственные модели техногенных и природных объектов.

Пространственная модель объекта вместе с сематическим описанием его характеристик и свойств формируют геопространственную модель. И геоданные, и полученные на их основе геопространственные модели формируют геопространственную модель трубопроводной системы, отражающую объективную реальность. Вместе с тем для анализа состояния инфраструктуры, надежной эксплуатации и развития необходимы знания, представляющие собой оценку протекающих процессов и явлений, – геознания. Таким образом, современная теория геопространственного моделирования трубопроводных систем должна основываться на

использовании комплекса базовых понятий геоданных, геопространственных моделей и геознаний.

Аэрокосмические исследования трубопроводов производятся путем периодического наблюдения за состоянием охранных зон, зон минимально допустимых расстояний и объектов МТ.

В процессе исследований было определено, что основными задачами мониторинга МТ средствами ДЗЗ являются:

- контроль состояния охранной зоны трубопроводов;
- мониторинг переходов через водные преграды и овраги, воздушных переходов, мостов через водные преграды, дамб, переездов через магистральные трубопроводы;
- мониторинг объектов МТ: пунктов пуска и приема средств очистки и диагностики, установок электрохимической защиты, площадок хранения аварийного запаса труб;
- наблюдение за параллельно проложенными трубопроводами в коридоре трассы МТ, ЛЭП, вдольтрассовыми проездами, автодорогами и железными дорогами, линиями связи, местами пересечения с указанными сооружениями трубопровода в пределах зон минимально допустимых расстояний;
- контроль проведения строительных и ремонтных работ;
- выявление и регистрация нарушений и повреждений на трубопроводах;
- оперативная локализация аварийных ситуаций.

Целью аэрокосмического мониторинга является обеспечение безопасной работы МТ. Основные направления исследований: оценка технического состояния трубопровода, выявление дефектов и их источников, а также контроль качества строительных и ремонтных работ.

В процессе анализа технической литературы и в ходе работ по мониторингу выявлено, что потенциально опасными участками трубопроводов, на которых наиболее вероятно появление дефектов и как следствие аварий, являются участки с наиболее сложными инженерно-геологическими условиями.

К участкам со сложными инженерно-геологическими условиями относятся: сильнольдистые грунты, пучинистые грунты, подземные льды; косогоры с льдонасыщенными грунтами; участки на границе между тальми и вечномерзлыми грунтами; оползневые участки трассы; участки МТ, пересекаемые селевыми потоками; всплывшие участки трубопровода; участки МТ с наиболее высокими эксплуатационными нагрузками на трубопровод; участки МТ на подрабатываемых территориях.

В процессе работы установлено, что основным источником информации для решения задач являются аэрокосмические изображения, получаемые в оптическом диапазоне длин волн, а также материалы лазерного сканирования, реже данные тепловой съемки или космической радиолокационной съемки.

Технологии аэросъемок наиболее применимы для изучения протяженных объектов трубопроводного транспорта. Для небольших и сложных объектов и их детальной съемки используют технологию наземного лазерного сканирования (НЛС). Решение задач геотехнического мониторинга обычно требует использования нескольких видов дистанционного зондирования, в том числе высокоточных методов лазерного сканирования.

В процессе исследований были определены технологии ДЗЗ, которые можно рекомендовать в зависимости от площади съемки. Для объектов трубопроводного транспорта в составе рекомендованных методов мониторинга чаще всего указан метод воздушного лазерного сканирования, вместе с тем он обязательно дополняется методами аэрокосмической съемки. Методы наблюдения, периодичность проведения мониторинга, ширина полосы съемки, требования к точности определяются задачами, нормативными документами и внутренними отраслевыми инструкциями.

Анализируя возможные направления дальнейших исследований по использованию данных ДЗЗ для информационного обеспечения задач трубопроводного транспорта, следует отметить:

– во-первых, необходимо развивать технологии создания и использования геопространственных моделей объектов трубопроводных систем. Новые техниче-

ские возможности, такие как НЛС и ВЛС, способны уже сегодня обеспечить получение трехмерных пространственных данных с очень высокой точностью. Такие трехмерные модели необходимы для решения производственных задач выполнения контроля соответствия результатов строительства проектным решениям, выявления и мониторинга ОГП в коридоре трассы и др.;

– во-вторых, важнейшей задачей становится развитие методов и технологий дешифрирования, позволяющие обнаружить объекты инфраструктуры трубопровода, проявления опасных природных процессов, определить их количественные характеристики по данным аэрокосмической съемки, в том числе на основе автоматизированных методов обработки данных ДЗЗ и использования геопро пространственных моделей;

– в-третьих, важным является реализация единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта как составной части программ цифровой трансформации предприятий нефтегазовой отрасли. Данное направление обусловлено необходимостью системного представления природно-технической среды трубопроводного транспорта и протекающих в ней процессов. Единое геоинформационное пространство должно обеспечить потребности совместной работе с пространственно-распределенной информацией в ходе проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводов;

– в-четвертых, требуется реализовать переход от статической ГИС к динамической для визуализации и анализа данных периодического мониторинга. Информация об объектах мониторинга и протекающих процессах, получаемая с использованием средств ДЗЗ, должна оперативно обрабатываться и аккумулироваться в едином геоинформационном пространстве для анализа и получения количественных характеристик динамики природных и техногенных процессов в коридоре трассы трубопровода на основе геопро пространственных моделей.

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

2.1 Разработка комплекса методологических принципов геопространственного моделирования и аэрокосмических исследований трубопроводных систем

В рамках разработки теоретических основ аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования систем трубопроводного транспорта был создан комплекс методологических принципов, учитывающих специфику проведения работ. Особенности работ определяются технической сложностью объекта мониторинга, динамичностью протекающих процессов, а также требованиями к результатам мониторинга.

К базовым методологическим принципам мы относим принципы: динамичности, системности, единства измерений, идентификации, интерпретируемости, унификации, модернизации и комплексности. Состав методологических принципов может быть расширен дополнительными принципами.

С началом эксплуатации МТ оказывает постоянное и значимое влияние на протекание природных процессов в коридоре трассы, в свою очередь, и природные процессы оказывают свое влияние на трубопроводы. При организации аэрокосмического мониторинга определяют изменения, которые произошли в коридоре трассы под воздействием природных или антропогенных факторов. Поэтому первым базовым принципом, на который следует опираться при исследовании трубопроводных систем, является принцип динамичности.

Принцип системности – базовый принцип, который является теоретическим обоснованием взаимосвязанности и взаимообусловленности компонентов природно-технической системы трубопроводного транспорта. Данный принцип предполагает необходимость исследования всех процессов, влияющих на изучаемый объект мониторинга.

Для анализа данных аэрокосмического мониторинга трубопроводных систем необходимо сформированное единое геоинформационное пространство. Единое геоинформационное пространство с его географической и временной распределенностью позволяет осуществить моделирование сложных технических объектов МТ, активно взаимодействующих с природной средой. Формирование информационного пространства на основе ГИС-технологий представляет собой процесс моделирования объектов природно-технической системы G_u , в котором реализуются преобразования вида:

$$G_u \rightarrow G_m. \quad (2.1)$$

Основными компонентами единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта G_u являются модели объектов и протекающих процессов G_m , созданные в процессе обработки данных ДЗЗ, которые являются источниками информации.

Единое информационное пространство трубопроводного транспорта многомерно. Оно включает множество измерений, в рамках которых происходит анализ состояний, событий и протекающих процессов, в том числе, анализ планово-высотного положения объектов инфраструктуры, расчета ореолов оттаивания, анализ развития ОГП и т. д. Для каждого измерения существует своя информация, по которой производится оценка состояния, динамики процессов, уровня опасности процессов

$$G_m = \sum_{i=1}^I G_{mi}. \quad (2.2)$$

Чтобы обеспечить корректную обработку материалов, собираемых в процессе аэрокосмического мониторинга, следует руководствоваться принципом *единства измерений*. Принцип единства измерений предполагает такое состояние, при котором результаты исследований выражены в принятых единицах, а показатели точности не выходят за установленные границы. Для обеспечения единства измерений должно быть сформировано единое координатное пространство, которое обеспечит возможность комплексной обработки данных разных видов съемок.

Для обеспечения эффективного функционирования и развития единого информационного пространства трубопроводного транспорта необходимо соблюдать принципы *идентификации* и *интерпретируемости*.

Принцип *идентификации* предполагает установление в результате дешифрирования конкретного объекта на аэрокосмическом изображении. Принцип *интерпретируемости* предполагает, что информация, полученная в процессе исследований природно-технической системы, должна быть истолкована так, чтобы была возможность принять управленческое решение. Для этого используются геопространственные модели и современные ГИС с их возможностями трехмерного отображения и инструментами пространственного анализа данных.

При геопространственном моделировании объектов трубопроводного транспорта следует руководствоваться принципом *унификации*, который определяет, что трехмерные геопространственные модели объектов магистрального трубопровода должны формироваться с помощью информационных единиц – базисных элементов модели.

Принимая во внимание стремительное развитие технологий аэросъемки, в том числе беспилотных технологий и ВЛС при проведении исследований объектов трубопроводного транспорта, следует руководствоваться принципом *модернизации*, который является теоретическим обоснованием необходимости обновления оборудования, технологических процессов в соответствии с новейшими достижениями науки и техники, изменении требований, норм и условий эксплуатации.

Еще один принцип, который лежит в основе информационного обеспечения задач трубопроводного транспорта, – принцип *комплексности*. Принцип комплексности предполагает согласованное применение разнородных технологических средств при построении системы аэрокосмического мониторинга, обеспечивающей все потребности в данных ДЗЗ.

Базовые принципы аэрокосмических исследований трубопроводных систем могут быть дополнены принципами *разумной достаточности* и *преемственности*. Геопространственные данные, получаемые в процессе аэрокосмического мониторинга,

должны соответствовать требованиям регламентирующих документов. Исходя из этого, при выборе комплекса технологических средств для получения пространственно-временных данных следует руководствоваться принципом *разумной достаточности*. То есть выбирать технологии таким образом, чтобы затраты на изыскания были минимальными для обеспечения соответствия требованиям к результатам работ.

Помимо этого, при разработке любых новых технологий необходимо опираться на существующий опыт уже проведенных исследований, тем самым соблюдая принцип *преемственности*.

Среди таких работ следует отметить труды: в области геодезии – Брыня М. Я., Карпика А. П., Уставича Г. А., Хорошилова В. С., Шоломицкого А. А., Щербакова В. В., Ямбаева Х. К. и др. [23, 46, 80, 143, 145, 210, 216, 217]; в области фотограмметрии – Гука А. П., Михайлова А. П., Хлебниковой Т. А., Чибуничева А. Г. [43, 44, 198-200, 125]; в области дистанционного зондирования и формирования геопространства – Аковецкого В. Г., Бондура В. Г., Комиссарова В. А., Савиных В. П. и др. [2, 8, 20–22, 90, 94, 134, 170–172, 178, 187], в области тематического картографирования – Зверева А. Т., Малинникова В. А., Шаповалова Д. А. и др. [36, 71].

2.2 Теоретические основы аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования трубопроводных систем

В процессе исследования разработаны теоретические основы аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования трубопроводных систем, которые легли в основу методологии исследования природно-технических систем трубопроводного транспорта аэрокосмическими средствами с использованием геопространственных моделей.

2.2.1 Теоретические основы аэрокосмических исследований трубопроводных систем

Магистральный трубопровод является сложной технической системой, эксплуатируемой в различных природных условиях. В процессе его функционирова-

ния неизбежно возникают обстоятельства, приводящие к тем или иным изменениям функциональных свойств, отклонению от нормативов технического состояния.

Дефекты могут возникать на всех этапах функционирования нефтепровода – от строительства до завершения эксплуатации. Источниками их возникновения могут быть: нарушения требований нормативных документов и режимов технологических процессов, хозяйственная деятельность человека в зоне трубопровода, не связанная с его функционированием, различные воздействия природных процессов (рисунок 2.1).

Некоторые виды дефектов сами могут послужить источниками возникновения других дефектов. Так, например, дефекты систем электрохимической защиты могут спровоцировать возникновение коррозии на трубопроводе. После аварий также можно обнаружить дефекты оборудования или труб, непосредственно не попавших в зону поражения, но подвергшихся воздействию взрывной волны, перепадов давления, чужеродных элементов в транспортируемом продукте, смещению от проектного положения.

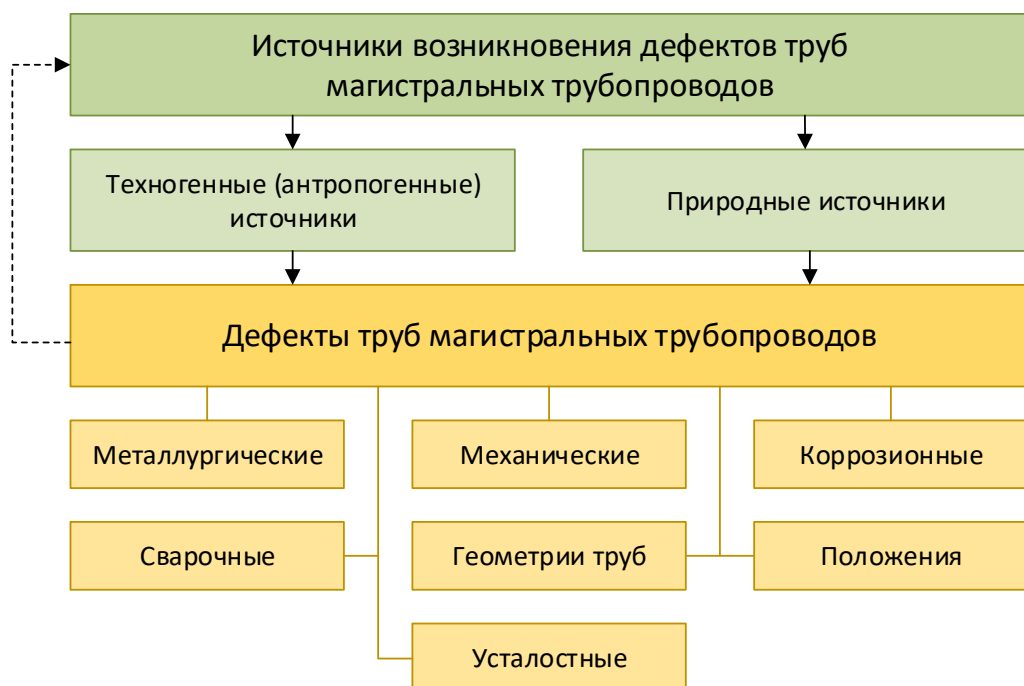


Рисунок 2.1 – Обобщенная схема процесса возникновения и развития дефектов трубы магистральных трубопроводов

Основными природными источниками возникновения дефектов инфраструктуры магистральных трубопроводов являются экзогенные и эндогенные геологические процессы, а также атмосферные процессы и явления, в зоне воздействия которых находится трубопровод. Осадки способствуют развитию коррозии как наземных, так и подземных элементов магистральных трубопроводов и возникновению дополнительной нагрузки на надземные части трубопроводов. Их воздействие проявляется при неэффективных системах и способах защиты от коррозии и ошибках проектирования.

Механизмы накопления дефектов, как правило, бывают смешанными. Действие каждого фактора разрушения усиливается при наличии других разрушающих факторов. Например, наличие механического напряжения заметно (иногда на порядок) ускоряет скорость коррозии за счет смещения электрохимического потенциала металла. А присутствие в зоне напряжения дефектов сварных швов снижает прочность данного участка в несколько раз.

Из исследованных дефектов именно коррозионные оказывают особенно пагубное влияние на состояние труб. Коррозия металла возникает в результате процесса самопроизвольного окисления, приводящего к разрушению металла под воздействием окружающей среды. Металл разрушается с образованием пятен и каверн значительной глубины, иногда поражающих всю глубину стенки.

Разрушения внутренней поверхности труб в виде канавок встречаются на участках трубопровода, где имеются скопления воды, в результате совместного действия электрохимической коррозии и абразивного действия механических частиц, циркулирующих в застойной зоне. Скорость коррозионных процессов зависит от многих факторов, связанных как со свойствами металлического материала трубы, так и со свойствами внешней среды.

Основным инструментом обнаружения дефектов трубы являются средства внутритрубной диагностики, которые позволяют определить (диагностировать) дефекты трубных секций. При проведении такого рода исследований важно своевременно определить взаимосвязь между дефектами и источниками их возникновения.

Сложность заключается в том, что результаты внутритрубной диагностики имеют линейную привязку (дистанцию по трассе МН), связанную с участком внутритрубной диагностики, а их возможные источники имеют свое географическое представление на карте. При размещении на карте линейных событий (результатов ВТД) неизбежно возникают ошибки, связанные с переходами от линейной к географической системе координат и обратно, в ряде случаев довольно существенные. Величина ошибок может достигать десятков метров, что может быть обусловлено недостаточной точностью определения координат при обработке материалов ВТД, ошибками пересчета, недостаточным количеством контрольных точек, имеющих координаты в обоих представлениях.

Для уменьшения ошибки перехода от линейной системы координат к географическому представлению на карте целесообразно использовать инструменты работы с линейной системой координат, которые предусмотрены рядом геоинформационных продуктов.

Для построения линейной системы координат используют ось трассы и калибровочные точки, которые имеют как линейные координаты, так и географические. На магистральных трубопроводах такими калибровочными точками могут выступать: задвижки, вантузы, камеры пуска и приема средств очистки и диагностики и т. д.

Для выявления опасных природных процессов в коридоре трассы осуществляют регулярный геотехнический мониторинг с использованием средств аэро съемки, воздушного лазерного сканирования, наземных обследований. Такой комплекс работ необходим для того, чтобы выявить опасные процессы на ранних стадиях и успеть провести компенсирующие мероприятия, обеспечив безопасную эксплуатацию трубопровода.

Использование ГИС для создания единого геоинформационного пространства магистрального трубопровода позволяет проводить совместный анализ данных внутритрубной диагностики и результатов аэрокосмического мониторинга опасных природных процессов, определять взаимосвязи между дефектами и источ-

никами их возникновения, прогнозировать развитие протекающих процессов (рисунки 2.2, 2.3).



Рисунок 2.2 – Участок трубопровода с дефектами на космическом изображении (данные по дефектам получены по результатам внутритрубной диагностики, положение дефектов определено с использованием линейной системы координат)

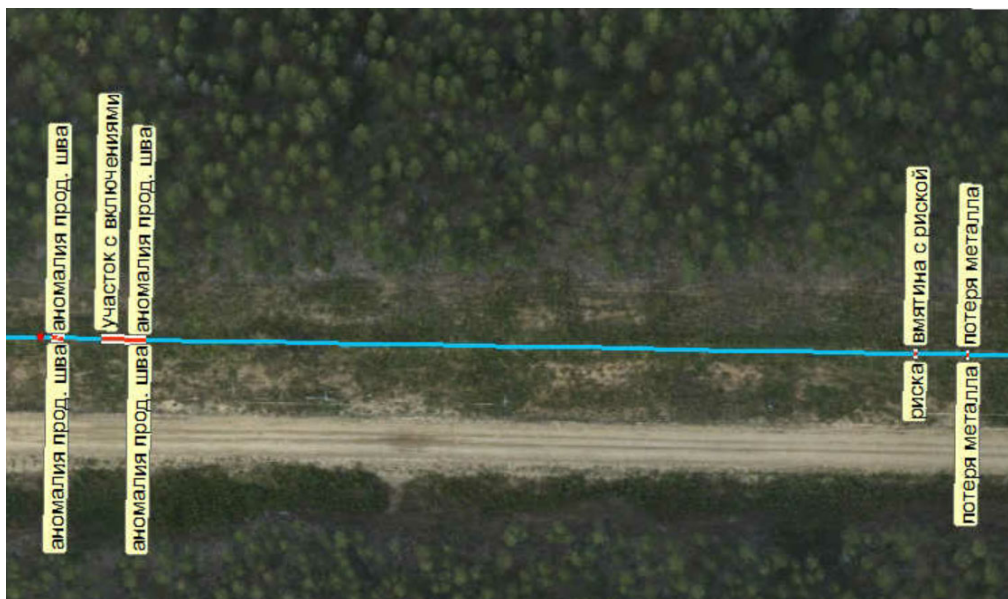


Рисунок 2.3 – Участок трубопровода с дефектами на аэроснимке, полученном в процессе геотехнического мониторинга участка трассы

Безаварийная эксплуатация во многом зависит от своевременного выявления дефектов, чтобы успеть провести компенсирующие мероприятия, обеспечив безопасную эксплуатацию трубопровода. Для этого необходимо сформировать такую систему мониторинга, которая позволит обнаружить дефекты МТ, определить источники их возникновения и устранить предикторы развития.

Современные возможности геоинформационного обеспечения трубопроводных систем базируются на новых технологиях и средствах сбора, методах моделирования и автоматизированной обработки данных геотехнического мониторинга.

В процессе эксплуатации трубопроводная система оказывает воздействие на природную среду, как и природная среда влияет на элементы инфраструктуры. Последствия этих воздействий должны быть зафиксированы в процессе геотехнического мониторинга. Результаты мониторинга ложатся в основу экспертной оценки текущего состояния, прогноза развития и подготовке компенсирующих мероприятий. Компенсирующие мероприятия выполняют с целью обеспечить необходимые параметры для безопасной эксплуатации объектов трубопроводного транспорта.

На рисунке 2.4 приведена схема формирования единого геоинформационного пространства для обеспечения безопасной эксплуатации МТ. Показана связь с комплексом работ по геотехническому мониторингу, обработки данных мониторинга, моделирования с использованием программно-расчетных модулей, оценки, прогнозирования, а также с мероприятиями по регулированию состояния природно-технической среды.

Для выявления ОГП в коридоре трассы и обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводных систем осуществляют регулярный геотехнический мониторинг с использованием средств аэросъемки, ВЛС, наземных обследований.

Методы геотехнического мониторинга за последние несколько лет вышли на качественно новый уровень в связи с применением новых систем и технологий космической съемки, воздушного лазерного сканирования, аэросъемки, в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов.

гиях, является важнейшим элементом мониторинга изменений, происходящих на территориях прохождения трасс трубопровода под воздействием природных и антропогенных факторов.

Необходимость безопасной эксплуатации ставит перед геоинформационным обеспечением трубопроводного транспорта задачи, которые обуславливают необходимость новых функций в составе геоинформационного обеспечения. С другой стороны, современные возможности научно-технического прогресса предоставляют новые средства дистанционного зондирования Земли, изучения пространства сканерными методами, компьютерной обработки и анализа геопространственной информации.

Чтобы обеспечить совместное использование данных производственных подразделений, аэрокосмического мониторинга, экологических наблюдений должно быть сформировано единое геоинформационное пространство, ориентированное на задачи разных направлений и подразделений управляющих и эксплуатирующих компаний (рисунок 2.5). Концепция единого геоинформационного пространства отражает объективную необходимость объединения результатов изучения природно-технической системы разными средствами, что позволит всесторонне изучить объект мониторинга при оптимальных затратах и избежать противоречий при анализе и принятии решений.

В процессе исследований установлено, что для формирования геоинформационного пространства трубопроводного транспорта необходимо провести комплекс работ, связанный с получением и обработкой пространственных данных, включающий: создание единой координатной системы, сбор пространственных данных, формирование геоинформационных моделей и наполнение системы, интеграцию данных и знаний о территории для анализа, моделирование, прогнозирование, управление окружающей средой и территориальными подразделениями компании. При этом наиболее информативным источником актуальной и объективной информации являются материалы аэрокосмической съемки.

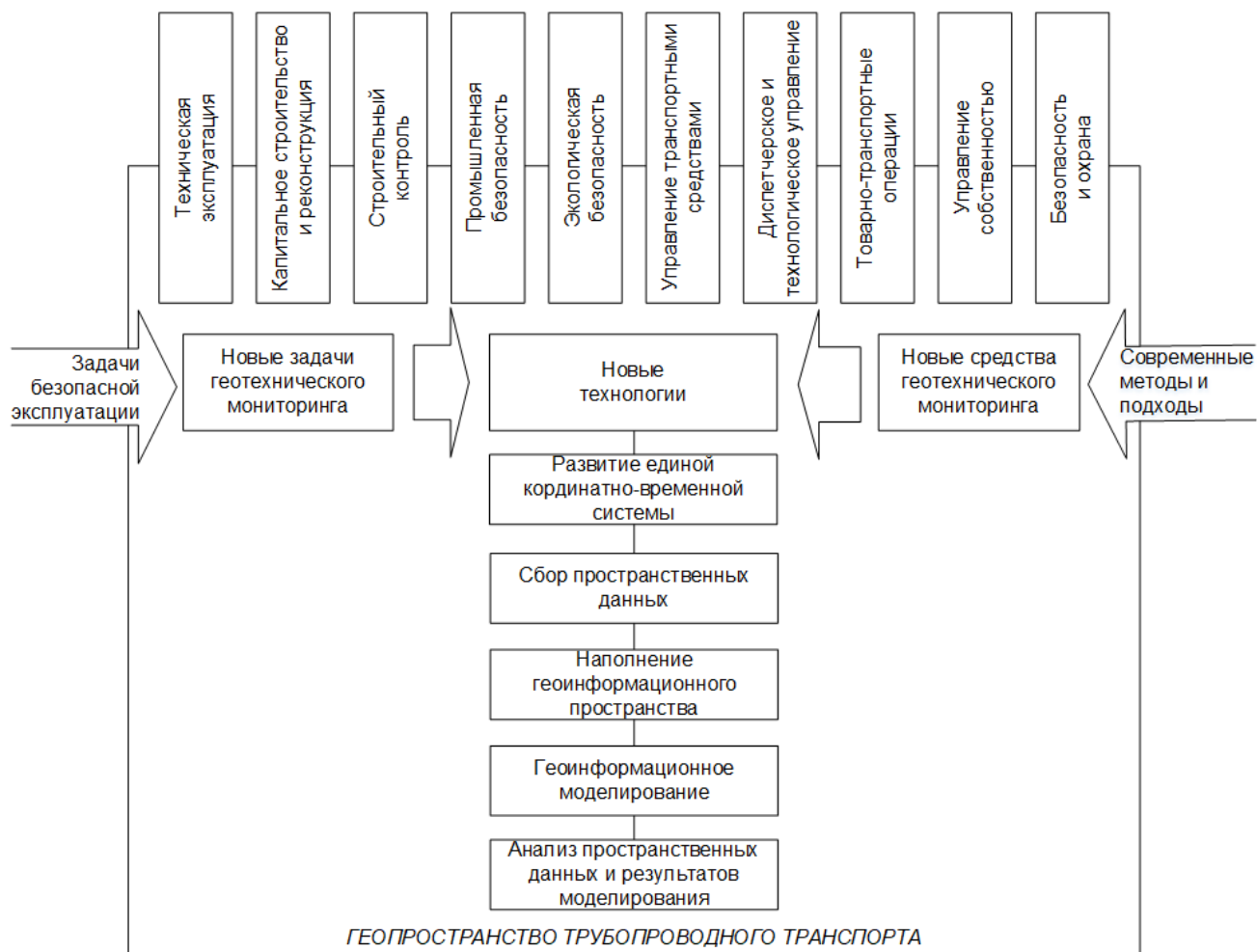


Рисунок 2.5. – Формирование геoinформационного пространства трубопроводного транспорта (по [80] с дополнениями)

Данные ДЗЗ используются при наполнении геoinформационных систем для решения, в том числе следующих задач:

- геопро пространственного моделирования;
- инвентаризации объектов трубопроводного транспорта;
- обновления картографической информации;
- решения задач производственных подразделений технической эксплуатации, промышленной и экологической безопасности, диспетчерского и технологического управления, строительства и реконструкции и др.

В процессе исследования установлено, что состав технологий, используемых при сборе геопро пространственной информации, меняется. Связано это в первую оче-

редь с развитием беспилотных летательных технологий и средств фотограмметрической обработки материалов съемки с БПЛА. Все чаще использование актуальных аэрокосмических изображений заменяет использование растровых копий картографических материалов, автоматическое распознавание объектов по растровому изображению карт уступило место распознаванию объектов по аэрокосмическим изображениям с использованием технологий искусственного интеллекта. На основе полученных данных ДЗЗ создаются трехмерные геопространственные модели.

Формирование единого координатного пространства трубопроводного транспорта дает возможность провести анализ геопространственных моделей, создаваемых в процессе аэрокосмического мониторинга, и оценить динамику протекающих процессов.

Все это ставит вопрос о необходимости разработки принципиально новых технологий получения и применения материалов дистанционного зондирования для исследования систем трубопроводного транспорта.

2.2.2 Теоретические основы формирования единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта

В рамках исследования сформировано системное представление о геоинформационном пространстве трубопроводного транспорта и его основных параметрах, разработаны теоретические основы формирования единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта по материалам аэрокосмических исследований, предложена его структурно-функциональная модель, детально рассмотрена его структура.

Техногенные объекты трубопроводного транспорта, проходя через природные территории, образуют сложные техногенные природно-территориальные комплексы [66]. Границы природно-территориальных комплексов в пространстве определяются по ряду признаков, таких, как границы ландшафтов, территориальные особенности территории, зоны влияния определенных процессов или явлений, связанных с эксплуатацией трубопроводных систем.

Опасные природные процессы, протекающие в коридоре трассы, разного рода чрезвычайные ситуации, связанные с эксплуатацией трубопроводных систем, оказывают существенное влияние на природно-техническую среду и могут повлечь за собой огромные материальные потери и существенные экологические последствия. Все это дает полное право наряду с термином «геопространство» [85] выделить отдельно понятие «геопространство трубопроводного транспорта».

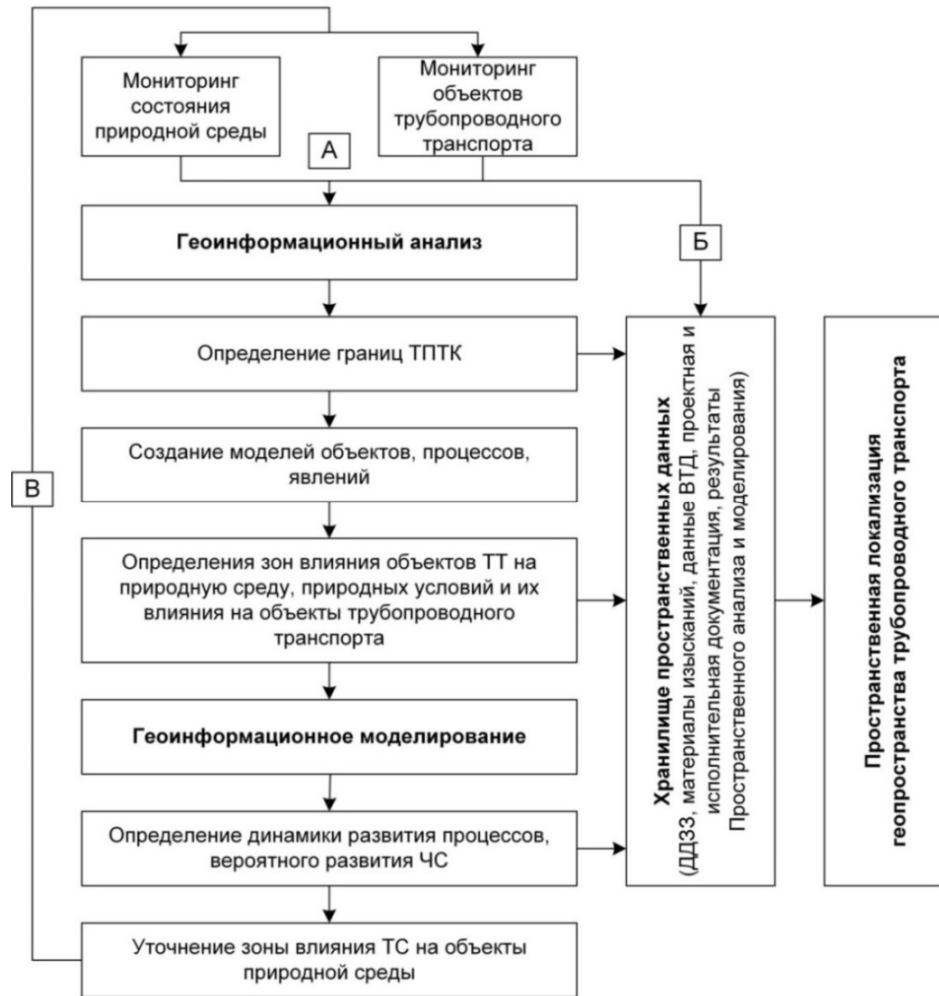
Геопространство трубопроводного транспорта – это пространство, ограниченное факторами влияния трубопроводной системы на определенный момент времени на множество пространственных объектов процессов и явлений, а также факторами влияния природных процессов и явлений на трубопроводную систему.

Структурно-функциональная модель единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта представлена на рисунке 2.6. Рассматривая геопространство трубопроводной системы, следует учитывать взаимное влияние трубопроводной системы на природную среду, а также влияние природных условий и опасных явлений на состояние объектов трубопроводного транспорта.

Геопространство трубопроводного транспорта, как разновидность геопространства, характеризуется протяженностью, динамичностью, структурностью [84].

Протяженность геопространства трубопроводного транспорта характеризуется протяженностью трубопроводной сети, шириной полосы интереса или хозяйственной деятельности, протяженностью природных условий или явлений, оказывающих влияние на состояние объектов трубопроводного транспорта.

Динамичность геопространства трубопроводного транспорта обусловлена его изменчивостью и неразрывной связью со временем. Это обстоятельство, с одной стороны, позволяет представлять информацию о прошлом состоянии трубопроводной системы, дефектах и протекающих природных процессах, так и о будущем, в виде прогноза изменений.



А – предупреждение развития ЧС на этапе геотехнического мониторинга; Б – передача данных геотехнического мониторинга в хранилище пространственных данных; В – цикл периодических наблюдений за состоянием природно-технической системы

Рисунок 2.6 – Структурно-функциональная модель единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта (по [3] с дополнениями)

Структурность геопространства трубопроводного транспорта проявляется в наличии и расположении объектов трубопроводного транспорта и сопутствующих объектов, в том числе, событий на трассе, протекающих техногенных и опасных природных процессов. Примерами процессов, происходящих в геопространстве трубопроводного транспорта, являются: реконструкция участков трассы, строительство новых участков, работы по замене секций, разливы нефти, строительство в коридоре трассы трубопровода, зарастание трассы, изменение характеристик природной среды (термокарстовые процессы) и пр. Объекты геопространства мо-

гут быть конкретные (например, участок трубопровода, нефтеперекачивающая станция, запорная арматура) и абстрактные (плотность дефектов), реальные (существующие объекты трубопровода) и предполагаемые (проектируемый участок).

Геопространство трубопроводного транспорта является комплексом информационных массивов: данных съемки, получаемых в процессе аэрокосмического мониторинга и инженерных изысканий, геопространственной информации (ГИ) и геоинформационных моделей (ГИМ), формируемых в процессе обработки данных мониторинга.

В результате детального рассмотрения процессов геоинформационного обеспечения МТ на основе данных ДЗЗ предложена структура единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта (рисунок 2.7).

Суть системного геоинформационного обеспечения (ГИО), представлена комплексной функцией F , осуществляющей преобразования на множестве геопространственных данных D , то есть

$$\text{ГИО} = \{F, D\}, \quad (2.3)$$

где $F = \{F_s, F_i, F_m, F_a\}$; $D = \{I, M, A, R\}$; S – первичные данные о природно-технической среде, получаемые в процессе аэрокосмического мониторинга; I – геопространственная информация; M – модели территории и процессов, протекающих в коридоре трассы; A – результаты пространственного анализа; R – пространственные решения.

Геоинформационное пространство (ГИП) представляет собой информационную координированную совокупную модель природно-технической системы трубопроводного транспорта, т. е.

$$\text{ГИП} = \{S, I, M, A, R\}, \quad (2.4)$$

где S – данные ДЗЗ; I – геопространственная информация; M – геопространственные модели; A – результаты анализа; R – пространственные решения.

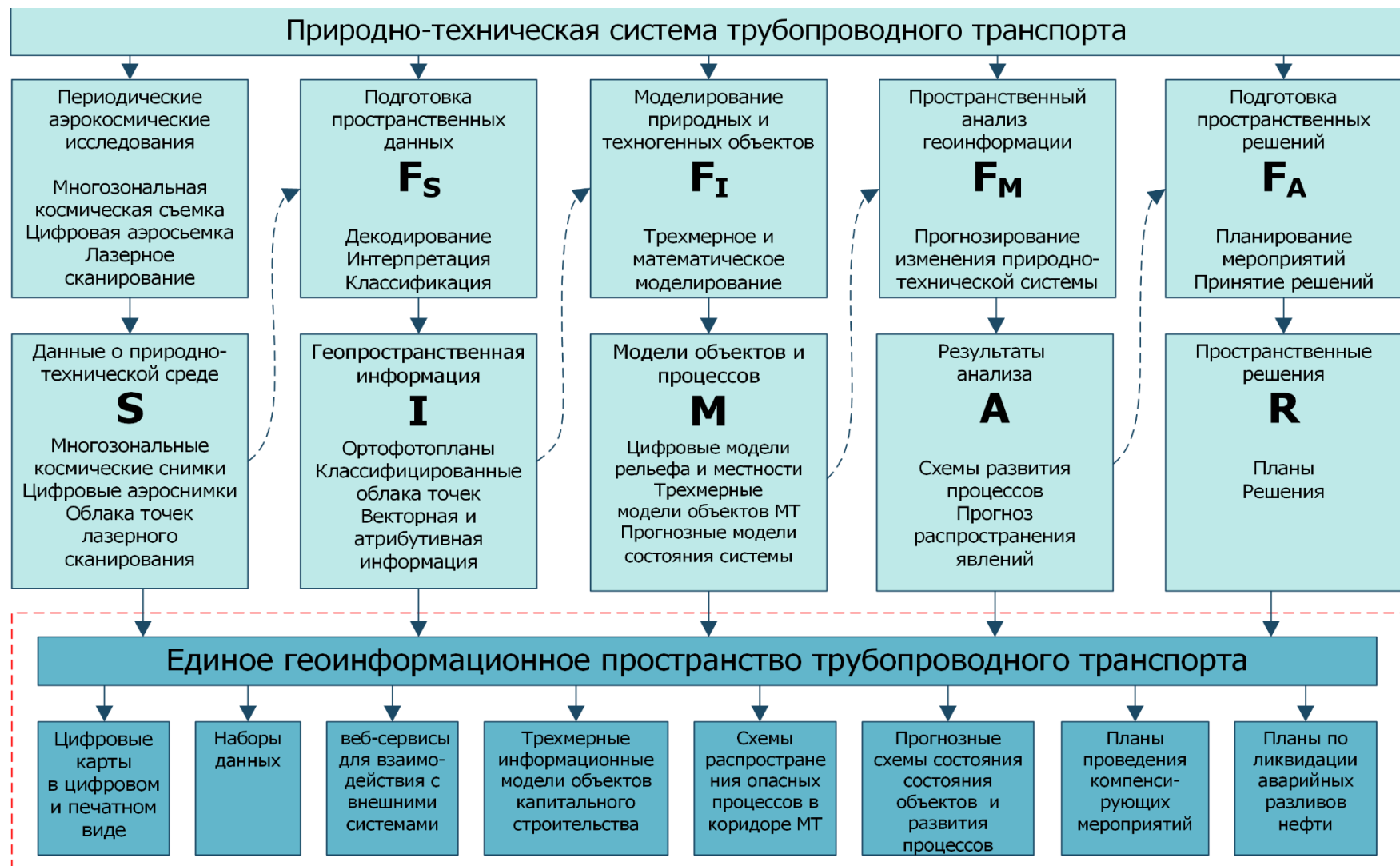


Рисунок 2.7 – Разработанная структура единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта

Параметры геоинформационного пространства трубопроводного транспорта

Геопространство систем магистральных трубопроводов может быть охарактеризовано с помощью параметров, которые более точно описывают отдельные наборы данных, информацию или модель объекта системы.

В результате практических работ и проведенных исследований определен следующий набор параметров: полнота, достоверность, актуальность, точность, мерность.

Полнота – степень соответствия набора данных (информации, модели) и их свойств условиям решаемых задач.

Достоверность – степень доверия. Определяется достоверность вероятностью появления неточной, ложной информации или ее частичным отсутствием по отношению ко всему объему или по наиболее значимым пространственным объектам, например, отсутствием данных о магистральных задвижках на трассе трубопровода.

Актуальность – степень соответствия информации и моделей геопространства ситуации на местности. Актуальность является относительной величиной и выражает отношение количества информации и моделей к общему количеству.

Основные причины снижения актуальности при формировании ГИП трубопроводного транспорта:

- 1) сбор недостоверной и/или неполной ГИ;
- 2) изменения природно-технической системы в процессе эксплуатации;
- 3) изменение требований к ГИ со стороны пользователей.

Геопространство трубопроводного транспорта изменчиво, поэтому, с увеличением периода времени, прошедшего с момента его формирования, актуальность ее, как правило, снижается. Для восстановления актуальности до приемлемого уровня проводятся работы по мониторингу.

Точность характеризуется погрешностями (средними или средними квадратическими) отображения пространственных, временных и других измеряемых

свойств пространственных объектов. Погрешности слагаются из трех основных источников погрешностей.

Во-первых, это мера пространственной неопределенности измеряемого свойства. Например, установить местоположение магистральной задвижки можно с погрешностью порядка 5–10 см, контура леса – 2–5 м.

Во-вторых, погрешности собственно измерения.

В-третьих, погрешности моделирования, которые должны быть, по крайней мере, вдвое меньше значений наибольшего источника: меры неопределенности свойств пространственного предмета или погрешности измерений.

Мерность определяется количеством используемых координат при моделировании (одна, две, три или четыре) и ограничивается количеством осей системы координат ГИ. Так, по трехмерной пространственной информации можно построить двух- или трехмерную ГИМ.

2.3 Методология аэрокосмических исследований магистральных трубопроводов

2.3.1 Методология аэрокосмических исследований объектов трубопроводного транспорта, основанная на использовании трехмерных цифровых моделей, построенных по данным ДЗЗ

На основе методологических принципов и теоретических основ разработана методология аэрокосмических исследований объектов трубопроводного транспорта, основанная на использовании трехмерных цифровых моделей, построенных по данным ДЗЗ (рисунок 2.8).

Методология учитывает динамичность исследуемой территории, необходимость системных наблюдений для решения производственных задач (*принципы динамичности и системности*), наследует традиционные технологии аэрокосмического мониторинга, но при этом опирается и на информацию, получаемую в процессе дистанционных исследований современными средствами (*принцип модернизации*) с использованием технологии лазерного сканирования, обеспечивая необходимую точность измерений.

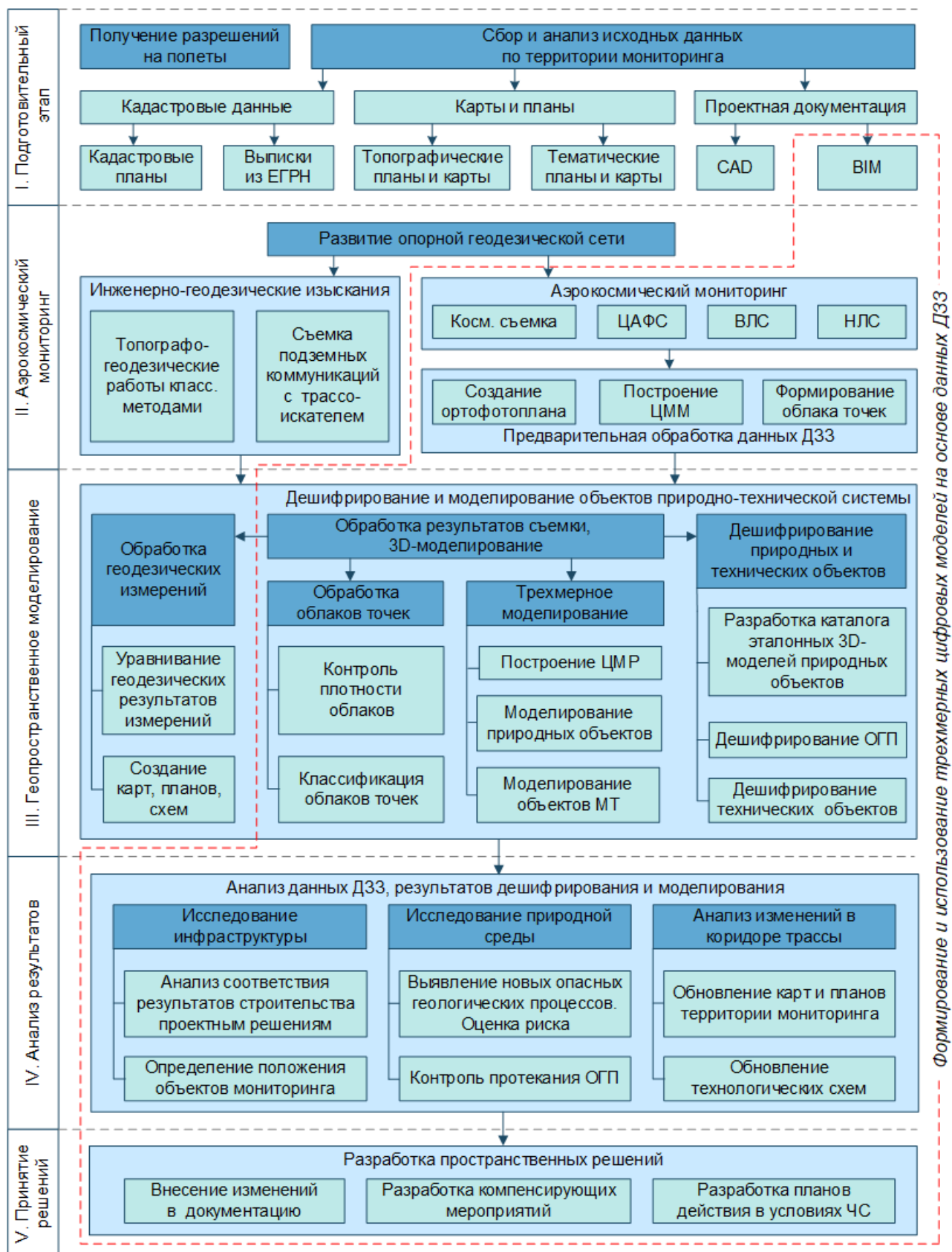


Рисунок 2.8 – Методология аэрокосмических исследований магистральных трубопроводов с использованием трехмерных цифровых моделей

Методология предусматривает возможность проведения мероприятий по контролю над выполнением строительно-монтажных работ (СМР) с применением БАС, а также с использованием технологий геопространственного моделирования, без необходимости выезда на объект капитального строительства.

Данная методология применима при проведении геотехнического мониторинга трубопроводов для изучения проходящих природно-техногенных процессов и оценки их влияния на трубопровод (*принципы идентификации и интерпретируемости*). Например, для контроля планово-высотного положения трубопровода и прогноза изменений, связанных с оттаиванием многолетнемерзлых грунтов в процессе эксплуатации.

Использование беспилотных летательных аппаратов и средств автоматизированной обработки материалов съемки обеспечивает оперативность получения необходимой пространственной информации на различных этапах производства работ и жизненного цикла объекта, в том числе на этапах предпроектного обследования, инженерных изысканий, контроля строительно-монтажных работ, в процессе эксплуатации и др.

При необходимости состав работ может быть расширен и включать, например, внутритрубную диагностику трубопроводов или полевые геологические изыскания.

2.3.2 Методы и технологии комплексного аэрокосмического мониторинга систем трубопроводного транспорта

Для проведения комплексного аэрокосмического мониторинга систем трубопроводного транспорта была разработана принципиально новая технология, охватывающая все области использования ДЗЗ производственными подразделениями:

- контроль состояния окружающей среды;
- контроль состояния охранных зон и зон минимальных расстояний;
- оценка технического состояния объектов инфраструктуры;
- контроль качества строительных работ;

– мониторинг ОГП (рисунок 2.9).

Мониторинг протяженных территорий природно-технических систем трубопроводного транспорта должен быть по возможности построен с применением современных средств автоматизированной обработки аэрокосмических изображений, которые позволяют оперативно в автоматическом режиме получать актуальную информацию. При этом основными методами являются методы анализа исходной яркости многозональных изображений или построение индексных изображений.

При контроле состояния охранных зон и зон минимальных расстояний как правило используют методы и технологии визуального дешифрирования объектов МТ или нарушений в коридоре трассы.

Перспективными являются методы:

– автоматического распознавания объектов МТ, инфраструктуры, таких как дороги, вдольтрассовые проезды, ЛЭП, распознавание растительности на аэрокосмических изображениях;

– оценки изменений поверхности земли в коридоре трассы по разновременным ЦМР для выявления динамики ОГП и нарушений в охранной зоне (несанкционированных работ, противоправной деятельности);

– определения изменений в коридоре трассы МТ по разновременным данным ДЗЗ.

Задачи оценки технического состояния объектов инфраструктуры, выявление дефектов, анализ геометрии объектов МТ должны выполняться с применением современных высокоточных средств измерений лазерного сканирования, с использованием методов трехмерного моделирования и геоинформационных систем для анализа геометрии объектов мониторинга, дефектов, дефектообразующих факторов и построения прогноза развития процессов.

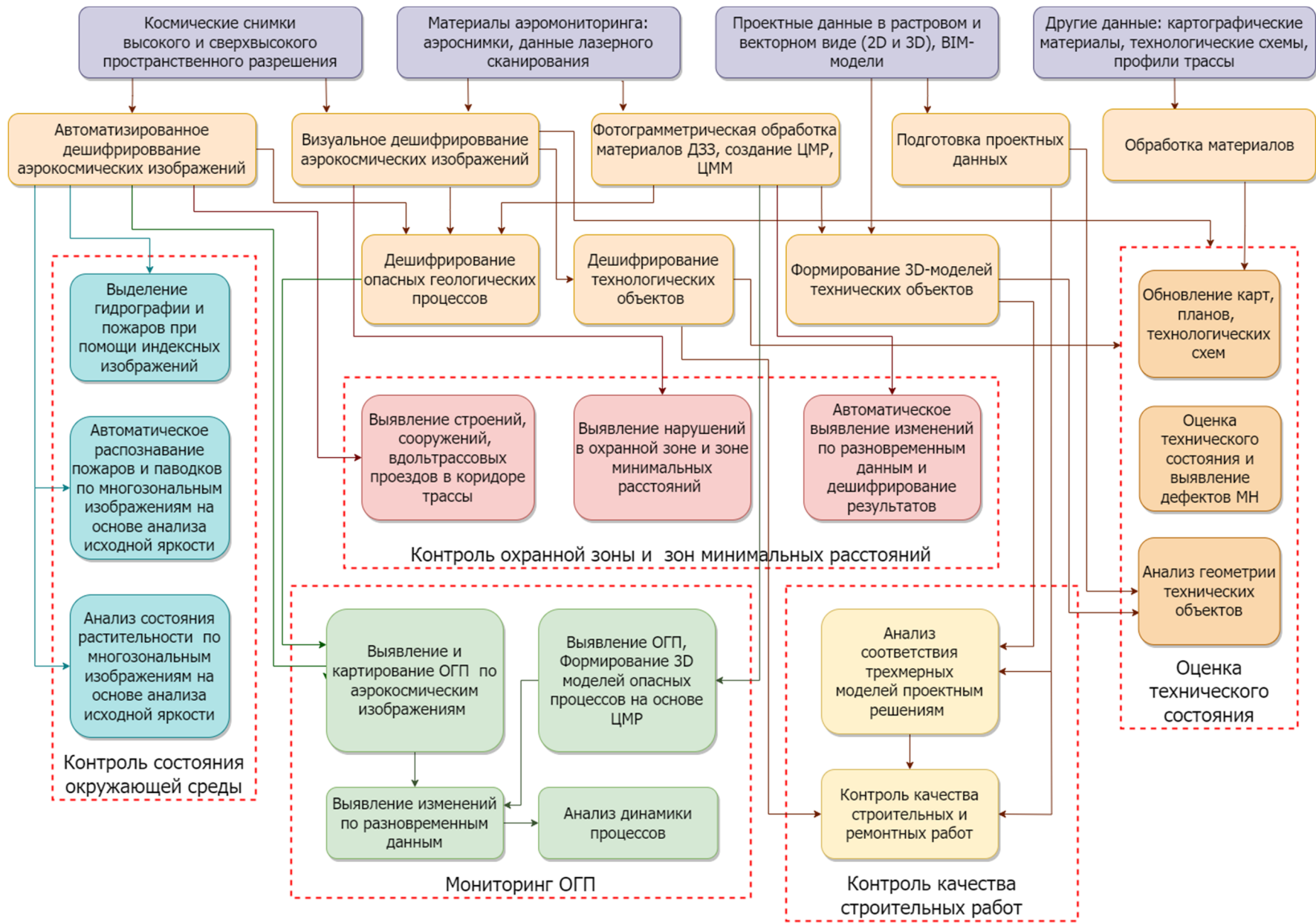


Рисунок 2.9 – Схема комплексного мониторинга магистральных трубопроводов по данным ДЗЗ

В процессе исследования было определено, что при контроле качества строительных работ, анализе соответствия результатов строительства проектным решениям путем сравнения моделей «как построено» и «как спроектировано», а также при анализе геометрии технических объектов целесообразно использовать новые технологии трехмерного моделирования. При формировании таких трехмерных объектов следует использовать высокоточные данные лазерного сканирования или цифровой аэросъемки, в том числе полученные с использованием беспилотных авиационных систем.

Для выявления ОГП и контроля динамики протекающих процессов может быть использован способ проведения геотехнического мониторинга линейных сооружений и площадных объектов на основе воздушного лазерного сканирования. Суть способа заключается в том, что проводят воздушное лазерное сканирование местности и по материалам съемки дешифрируют опасные геологические процессы. В рамках регулярного мониторинга проводят наблюдения за выявленными геологическими процессами и выявляют появление новых опасных геологических процессов.

Для картирования ОГП целесообразно использовать способ построения карты экзогенных геологических процессов местности вдоль трассы магистрального нефтепровода, который относится к способам получения топографической информации о рельефе по данным аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования, в частности к мониторингу участков трассы трубопровода для выявления признаков ОГП и фиксации их границ.

Порядок выполнения отдельных работ по дистанционному зондированию и обработке материалов ДЗЗ в рамках комплексного мониторинга магистральных трубопроводов определяется разработанными технологиями, инструкциями и нормативами. В таблице 2.1 приводятся документы, регламентирующие работы по мониторингу геометрии резервуаров (анализ деформаций), геотехническому мониторингу магистральных трубопроводов (оценка перемещений), мониторингу строительных, ремонтных работ и работ по реконструкции, выявлению и мониторингу

ОГП, включая эрозию, карст, оползневые и осыпные склоновые процессы, суффозию, солифлюкцию и их картографирование; определению технического состояния береговых участков и картографирование территорий.

Таблица 2.1 – Нормативное обеспечение задач мониторинга магистральных трубопроводов средствами ДЗЗ

Задача мониторинга	Краткое наименование	Полное наименование нормативного документа	Область регулирования	Выдержки из нормативного документа
1	2	3	4	5
Мониторинг геометрии резервуаров (анализ деформаций)	ГОСТ Р 58623–2019	ГОСТ Р 58623–2019 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные. Правила технической эксплуатации	В части средств контроля отклонений резервуара от вертикали после гидравлических испытаний и в процессе эксплуатации	Указывают способ проверки в соответствии с видом геодезических измерений — нивелирование/теодолитная съемка/тахеометрическая съемка/лазерное сканирование
	ГОСТ 31385–2016	ГОСТ 31385–2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия	В части предельных отклонений размеров и формы стенки резервуаров при монтаже	Предельные отклонения размеров и формы стенки резервуара при высоте резервуара до 12 м включительно +/- 20 мм
Геотехнический мониторинг магистральных трубопроводов (оценка перемещений)	РД-23.040.00-КТН-124–20	РД-23.040.00-КТН-124–20 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Геотехнический мониторинг. Общие положения	В части целей, методов мониторинга, периодичности наблюдений	Периодичность проведения аэровизуальных обследований методом ВЛС – 1 раз в 3 года, на участках ЛЧ МТ с ММГ и ЭГП – 1 раз в год. Ширина полосы съемки и камеральной обработки материалов ВЛС – не менее 150 м (не менее 75 м вправо и влево от оси трубопровода)
	РД-91.020.00-КТН-245–14	РД-91.020.00-КТН-245–14 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Воздушное лазерное сканирование и цифровая аэрофотосъемка. Требования к организации и выполнению	В части требований к геодезическому обеспечению и проведению работ по аэрофотосъемке и ВЛС магистральных трубопроводов и производственных площадок	Определение координат БС должно производиться с точностью не ниже плановых координат 4-го класса и нивелирования IV класса АФС должны иметь продольное перекрытие не менее 60 % и поперечное перекрытие 30 % для обеспечения резервной возможности построения фотограмметрического блока; Перекрытие между соседними проходами ВЛС должно составлять не менее 25 %

Продолжение таблицы 2.1

Задача мониторинга	Краткое наименование	Полное наименование нормативного документа	Область регулирования	Выдержки из нормативного документа
1	2	3	4	5
	ГОСТ Р 59562–2021	ГОСТ Р 59562–2021 Съёмка аэрофототопографическая. Технические требования	В части состава работ по геодезическому обеспечению аэросъёмочных работ, а также в части точности материалов аэрофото-съёмки	Среднее значение погрешности плановых координат для контрольных фотограмметрических точек на фотоплане не должно превышать 0,4 мм в масштабе карты или плана
	ГОСТ Р 59328–2021	ГОСТ Р 59328–2021 Аэрофотосъёмка топографическая. Технические требования	В области аэросъёмки, послеполетной и первичной обработки материалов аэросъёмки	Съёмка одним маршрутом допускается, если ширина объекта съёмки не превышает 75 % от полосы захвата при требуемой высоте фотографирования
	RU 2 582 428 C2	RU 2 582 428 C2 Способ контроля положения опор трубопроводов надземной прокладки в условиях вечной мерзлоты	При мониторинге положения трубопроводов надземной прокладки в условиях вечной мерзлоты	Определяет установку деформационных марок на сваи фундамента опоры трубопровода на расстоянии не менее 0,5 м от поверхности земли, установку грунтовых глубинных реперов, которые размещают на расстоянии не более 1,5 км друг от друга и не более 50 м от опор, установку референционных станций вдоль трубопровода на расстоянии 20–40 км друг от друга
	RU 173296 U1	RU 173296 U1 Устройство определения планово-высотного положения трубопровода	При мониторинге положения трубопроводов подземной прокладки в условиях со сложными природно-климатическими условиями	Предпочтительными размерами для металлической пластины являются размеры 40×40 см, 40×50 см и более. Рекомендованное количество точек лазерных отражений для получения более точного сканирования составляет девять штук на квадратный метр
	ГОСТ 24846	ГОСТ 24846. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений <i>(Требуется обновления, так как не предусматривает использование высокоточных методов лазерного сканирования)</i>	В части методов измерения вертикальных и горизонтальных перемещений и допусков к полученным результатам	Погрешность для геометрического нивелирования I, II класса не должна превышать 0,3–0,5 мм на 1 км двойного хода и 1–3 мм для геометрического нивелирования III, IV класса

Продолжение таблицы 2.1

Задача мониторинга	Краткое наименование	Полное наименование нормативного документа	Область регулирования	Выдержки из нормативного документа
1	2	3	4	5
Мониторинг строительных, ремонтных работ и работ по реконструкции	ГОСТ Р 59562–2021	ГОСТ Р 59562–2021 Съемка аэрофототопографическая. Технические требования	В части состава работ по геодезическому обеспечению аэросъемочных работ, а также в части точности материалов аэрофотосъемки	Среднее значение погрешности плановых координат для контрольных фотограмметрических точек на фотоплане не должно превышать 0,4 мм в масштабе карты или плана
	СП 317.1325800.2017	СП 317.1325800.2017 Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ	В части требований к базовым станциям ГНСС и точкам планово-высотного обоснования, точности определения планово-высотного положения опознаков и методов их закрепления на местности	СКП определения координат ОГС с точностью не ниже плановых координат 4-го класса и нивелирования IV класса (не более 20 мм в плане и не более 30 мм по высоте) Точность определения планово-высотного положения опознаков определяет масштаб создаваемых топографических материалов. Например, для масштаба 1 : 500 СКП определения координат опознавательного знака не должна превышать 8 см, для М 1 : 200 – 5 см
	СП 305.1325800.2017	СП 305.1325800.2017 Свод правил. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве	В части методов и задач геотехнического мониторинга при строительстве зданий и сооружений, в том числе подземных, возводимых в различных инженерно-геологических условиях	Работы по геотехническому мониторингу предусматривают использование нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в том числе оптических, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем.
Выявление и мониторинг ОВП, включая эрозию, карст, оползневые и осыпные склоновые процессы, суффозию, солифлюкцию и картографирование в масштабах: 1 : 500; 1 : 1 000, 1 : 2000	РД-23.040.00-КТН-124–20	РД-23.040.00-КТН-124–20 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Геотехнический мониторинг. Общие положения	В части целей, методов мониторинга, периодичности наблюдений	Периодичность проведения аэровизуальных обследований методом ВЛС – 1 раз в 3 года, на участках ЛЧ МТ с ММГ и ЭГП – 1 раз в год. Ширина полосы съемки и камеральной обработки материалов ВЛС – не менее 150 м (не менее 75 м вправо и влево от оси трубопровода).
	РД-91.020.00-КТН-245–14	РД-91.020.00-КТН-245–14 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Воздушное лазерное сканирование и цифровая аэрофотосъемка. Требования к организации и выполнению	В части требований к геодезическому обеспечению и проведения работ по ВЛС	Определение координат БС с точностью не ниже плановых координат 4-го класса и нивелирования IV класса

Продолжение таблицы 2.1

Задача мониторинга	Краткое наименование	Полное наименование нормативного документа	Область регулирования	Выдержки из нормативного документа
1	2	3	4	5
	ГОСТ Р 59562–2021	ГОСТ Р 59562–2021 Съемка аэрофототопографическая. Технические требования	В части состава работ по геодезическому обеспечению аэросъемочных работ, а также в части точности материалов аэрофотосъемки	Среднее значение погрешности плановых координат для контрольных фотограмметрических точек на фотоплане не должно превышать 0,4 мм в масштабе карты или плана
	ГОСТ Р 59328–2021	ГОСТ Р 59328–2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования	В области аэросъемки, послеполетной и первичной обработки материалов аэросъемки	Съемка одним маршрутом допускается, если ширина объекта съемки не превышает 75 % от полосы захвата при требуемой высоте фотографирования
	ГКИНП-02-033–82	ГКИНП-02-033–82. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 и 1 : 500	В части требований к методам измерений, составу и точности топографических планов	В качестве плановых опознаков выбираются контурные точки, которые можно определить на аэрофотоснимке с точностью 0,1 мм в масштабе составляемого плана Съемка территорий может выполняться аэрофототопографическим методом. Предельная погрешность в положении контуров с четкими очертаниями относительно точек съемочного обоснования не более 0,5 мм; предельная погрешность взаимного положения близлежащих контуров не более 0,4 мм;
	СП 115.13330.2016	СП 115.13330.2016 Геофизика опасных природных воздействий (Требует обновления, так как не предусматривает использование беспилотных летательных аппаратов и методов лазерного сканирования)	В части требований к оценке опасных природных воздействий, в том числе многолетнемерзлых грунтов	Источником информации для оценки ОГП являются: крупномасштабный картографический материал (геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические карты, карты и схемы развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов), а также аэрокосмические материалы разных лет

Окончание таблицы 2.1

Задача мониторинга	Краткое наименование	Полное наименование нормативного документа	Область регулирования	Выдержки из нормативного документа
1	2	3	4	5
Определение технического состояния береговых участков и картографирование территорий	ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02	ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02. Регламент технической эксплуатации переходов магистральных нефтепроводов через водные преграды <i>(Требуется обновления, так как не предусматривает возможность проведения аэросъемки и геопространственного моделирования, а также методов космического мониторинга МТ в период весеннего паводка в труднодоступных местах)</i>	Определяет виды, периодичность и границы проведения обследования переходов магистрального нефтепровода через водные преграды	В качестве контролируемых параметров определяет: размеры обнаруженных на береговых участках: оврагов, обрушений (обвалов) грунта вдоль берега, оползней, промоин, провалов и пучения грунта. Периодичность осмотра береговой части ППМН раз в квартал и после прохождения паводка. Два раза в день во время паводка при наличии водомерного поста
	ГКИНП-02-033-82	ГКИНП-02-033-82. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500	В части требований к методам измерений, составу и точности топографических планов	В качестве плановых опознаков выбираются контурные точки, которые можно определить на аэрофотоснимке с точностью 0,1 мм в масштабе составляемого плана Съемка территорий может выполняться аэрофототопографическим методом. Предельная погрешность в положении контуров с четкими очертаниями относительно точек съемочного обоснования не более 0,5 мм; предельная погрешность взаимного положения близлежащих контуров не более 0,4 мм

2.3.3 Способы фотограмметрической обработки данных цифровой аэросъемки

Одним из наиболее надежных методов построения и уравнивания аналитической фототриангуляции является способ связок. Данный способ является универсальным и позволяет отойти от традиционного деления фототриангуляции на маршрутную и блочную, обеспечивая возможность строить и уравнивать сеть одновременно по всем снимкам, входящим в блок или маршрут.

Способ связок, предложенный профессором Лобановым, основан на использовании условия коллинеарности, при котором точка местности M , ее изображение

на снимке t и центр фотографирования S лежат на одной прямой, векторы \overline{Sm} и \overline{SM} и коллинеарны, а их векторы пропорциональны, что можно представить в координатной форме следующим образом:

$$x_{ij} - x_0 = -f \frac{a_{1i}(X_j - X_{Si}) + b_{1i}(Y_j - Y_{Si}) + c_{1i}(Z_j - Z_{Si})}{a_{3i}(X_j - X_{Si}) + b_{3i}(Y_j - Y_{Si}) + c_{3i}(Z_j - Z_{Si})}, \quad (2.5)$$

$$y_{ij} - y_0 = -f \frac{a_{2i}(X_j - X_{Si}) + b_{2i}(Y_j - Y_{Si}) + c_{2i}(Z_j - Z_{Si})}{a_{3i}(X_j - X_{Si}) + b_{3i}(Y_j - Y_{Si}) + c_{3i}(Z_j - Z_{Si})}, \quad (2.6)$$

где x_{ij}, y_{ij} – координаты точки M_j на снимке i ; $\alpha_i, \omega_i, \kappa_i, X_{Si}, Y_{Si}, Z_{Si}$ – элементы внешнего ориентирования i -го снимка; X_j, Y_j, Z_j – координаты точек местности в пространстве.

Для определения элементов внешнего ориентирования модели необходимо определить координаты опорных точек. Рекомендуемое количество опорных точек не менее пяти, перекрытие снимков в блоке не менее 80 % (рисунок 2.10).

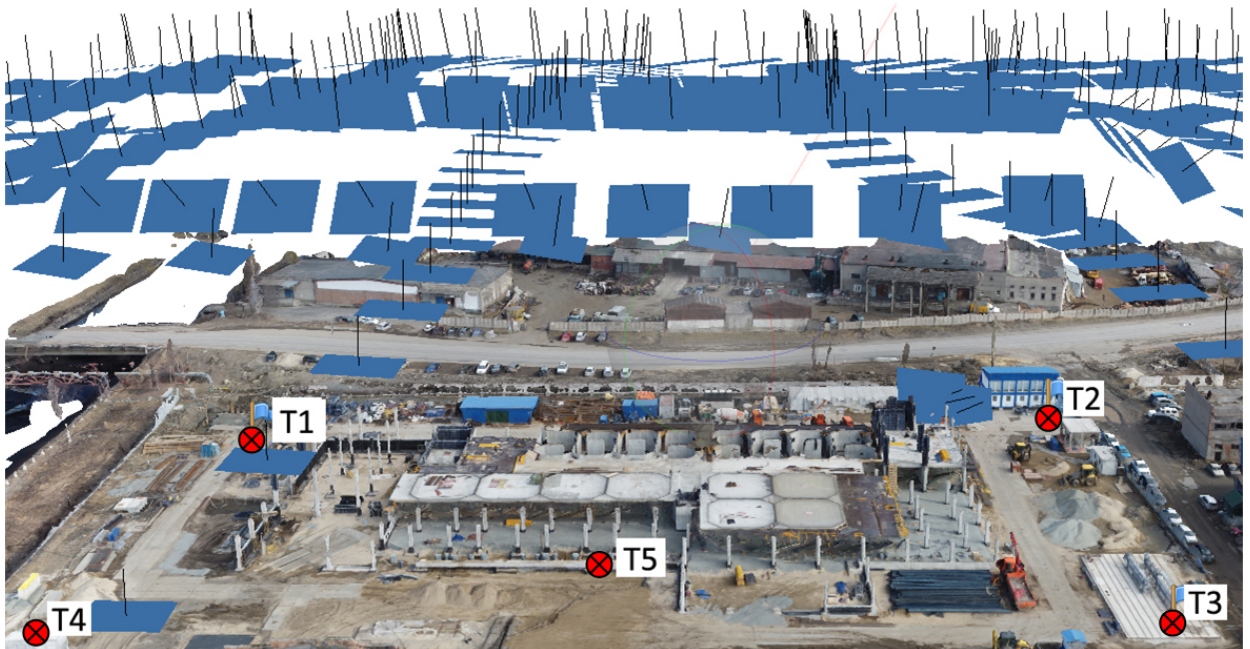


Рисунок 2.10 – Фрагмент технологического процесса фотограмметрического моделирования объектов системы трубопроводного транспорта

2.4 Разработка методологических основ формирования единого координатного пространства трубопроводной системы

2.4.1 Методы геодезического обеспечения аэросъемочных работ

Геодезическое обеспечение при аэрокосмических исследованиях природно-технических систем магистральных трубопроводов должно обеспечивать формирование и использование единого геоинформационного пространства. При этом геодезическое обеспечение выступает в качестве интегрирующего компонента и обеспечивает возможность проведение мониторинга комплексом средств и последующий анализ полученных результатов измерений. Таким образом методология геодезических работ строится на принципе *комплексности*, она должна учитывать тот перечень работ, который осуществляется в процессе наблюдений за магистральными трубопроводами, обеспечивать совместную обработку данных, получаемых в процессе исследований как в геодезических, так и в линейных координатах об объектах как надземной, так и подземной части трубопроводной системы.

При проведении работ по мониторингу трубопроводных систем ключевой задачей является получение актуальных высокоточных трехмерных данных: цифровых моделей рельефа, зданий, сооружений и инфраструктуры на промышленных площадках. Данные, пространственную информацию, геопространственные модели, получаемые в процессе исследований, используют для контроля соответствия результатов строительства проектным решениям, для обновления и восстановления технической документации, а также для изучения рельефа, протекающих природных процессах и их динамики.

Для получения высокоточных пространственных данных применяют современные технологии дистанционных исследований, в том числе цифровую аэросъемку и воздушное лазерное сканирование, а также методы наземного лазерного сканирования [236, 249, 267]. При периодическом мониторинге систем трубопроводного транспорта одной из ключевых задач является объединение в едином координатном пространстве данных мониторинга для их обработки и комплексного анализа. Современ-

ные геоинформационные технологии обеспечивают интеграцию данных в едином координатном пространстве, позволяют осуществить геопространственное моделирование и использовать полученную модель для системного анализа.

Сложность проведения мониторинга промышленных объектов с использованием разных методов съемки обусловлена необходимостью интеграции разнородных данных в едином координатном пространстве.

Интеграция данных съемки в едином координатном пространстве может быть осуществлена двумя основными способами. Путем независимого внешнего ориентирования в определенной системе координат или путем взаимного ориентирования одного набора данных относительно другого. Проведенный анализ литературы показал, что достаточно распространен подход, при котором объединение разнородных данных производят, используя в качестве основы более точные данные, полученные одним из методов съемки. Например, в качестве опорных данных могут рассматриваться материалы цифровой аэросъемки для привязки данных лазерного сканирования, или данные лазерного сканирования могут использоваться для привязки материалов цифровой аэросъемки.

Результаты работы показали, что при исследовании объектов капитального строительства трубопроводного транспорта интеграцию данных мониторинга необходимо производить с использованием методов внешнего ориентирования, для чего развивается необходимая геодезическая основа, соответствующая требованиям точности, указанной в техническом задании. Созданное геодезическое обоснование обеспечивает корректную привязку данных, получаемых в процессе НЛС, ВЛС, ЦАФС и, при необходимости, данных космической съемки.

Рекомендации к созданию (развитию) опорной геодезической сети (плановой и высотной), к расположению полетных опорных базовых станций, созданию опорных знаков, проведению аэросъемочных работ и последующей обработке данных ДЗЗ для формирования геопространственных моделей объектов мониторинга.

Развитие геодезического обоснования рекомендуется развивать с учетом требований существующих норм и правил (см. таблицу 2.1).

При выполнении инженерно-геодезических изысканий при мониторинге строительства и реконструкции объектов капитального строительства трубопроводного транспорта следует руководствоваться сводом правил СП 317.1325800.2017 [185]. В соответствии со сводом правил базовые станции определяют и закрепляют на местности. При этом базовые станции по возможности совмещают с существующими геодезическими пунктами, а опознавательные знаки – с уверенно распознаваемыми на аэрофотоснимках объектами местности.

Сводом правил установлены правила к точности определения положения пунктов в планово-высотной опорной геодезической сети (ОГС). Среднеквадратическая погрешность (СКП) определения координат пунктов ОГС с использованием спутниковых методов не должна превышать 2 см. СКП определения высотного положения пунктов ОГС не должны превышать 3 см. Точность определения планово-высотного положения опознаков определяет масштаб создаваемых топографических материалов. Например, для масштаба 1 : 500 СКП определения координат опознавательного знака не должна превышать 8 см. При выполнении работ необходимо контролировать точность геодезической основы, которая является исходной при определении местоположения объектов мониторинга [1].

Общие требования к проведению аэросъемочных работ, послеполетной и первичной обработке материалов аэросъемки, точности полученных материалов изложены в национальных стандартах ГОСТ Р 59562–2021 [42] и ГОСТ Р 59328–2021[41].

Методические основы и рекомендации по проведению наземного лазерного сканирования объектов нефтегазового хозяйства подробно изложены в работах Комиссарова А. В. [96], а также в нормативно-технических документах

В последующих разделах рассмотрены апробированные способы локализации на карте событий и явлений, полученных в линейных координатах, а также способы определения положения объектов трубопроводов подземной прокладки.

2.4.2 Способы преобразования линейных координат трассы трубопровода в геодезические и обратно

В процессе исследований выявлено, что положение объекта трубопроводного транспорта или события на трассе, как правило, определяется в линейных координатах. СЛК используется при создании технологических схем линейной части, ситуационных планов, продольных профилей, а также при обнаружении и анализе дефектов в процессе ВТД. Именно потому, что большая часть значимой информации представлена в линейных координатах, важно уметь осуществлять переход от линейных координат трассы к геодезическим, для чего используют калибровочные точки.

Калибровочные точки имеют линейную координату, геодезические координату и высоту, что позволяет связать линейную и геодезическую и системы координат (рисунок 2.11). Исследования показали, что использование космических изображений и СЛК позволяет определять положение МТ подземной прокладки и событий на трассе со средней ошибкой до 15 м в плане при среднем расстоянии между калибровочными точками 2,1 км.

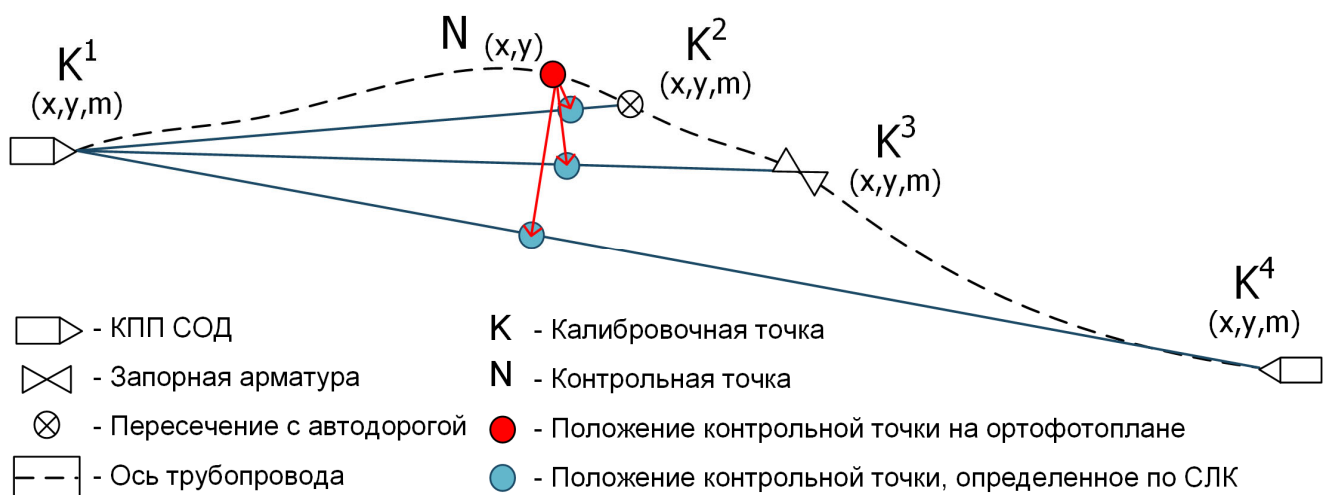


Рисунок 2.11 – Преобразование систем координат для построения единого координатного пространства трубопроводного транспорта

Предлагаемые методологические подходы использовались при разработке и апробации технологии дешифрирования объектов трубопроводного транспорта на аэрокосмических изображениях с использованием дополнительных данных, полученных в ЛСК. Определено, что модуль максимальной ошибки при вычислении геодезических координат объекта МТ составит не более:

$$\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\mu^2 - \lambda^2}, \quad (2.7)$$

где $\mu = m_N - m_1$ – длина участка в линейных координатах;

$\lambda = \sqrt{(x_N - x_1)^2 + (y_N - y_1)^2}$ – расстояние между калибровочными точками.

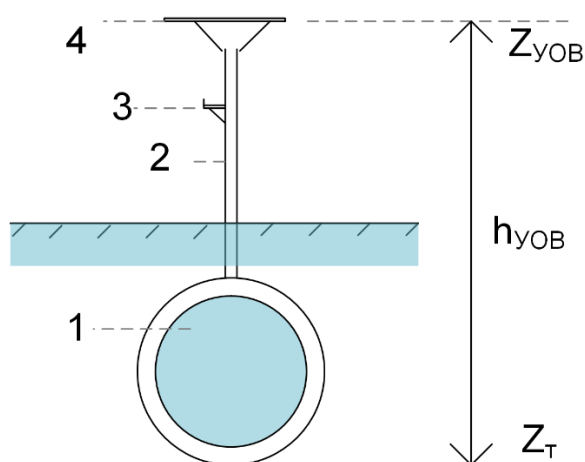
2.4.3 Способы определения пространственного положения объектов подземной части трубопровода

При осуществлении геотехнического мониторинга в сложных природно-климатических условиях целесообразно применять технологии ВЛС и УОВ для определения положения трубопровода подземной прокладки (рисунок 2.12). В этом случае при определении высоты основания МТ следует учитывать расстояние от верхней площадки устройства до основания трубопровода:

$$Z_T = Z_{УОВ} - h_{УОВ}, \quad (2.8)$$

где Z_T – высота основания трубопровода;

$Z_{УОВ}$ – высота площадки УОВ.



а)



б)

Рисунок 2.12 – Структура измерительного технологического оборудования при определении пространственного положения подземных объектов МТ:

а) схема, на которой: 1 – трубопровод, 2 – труба, 3 – геодезический репер, 4 – металлическая пластина; б) внешний вид устройства

2.5 Разработка методологических основ геопространственного моделирования технологических объектов магистральных трубопроводов

В процессе исследования на практических примерах было установлено, что геопространственное моделирование технологических объектов магистральных трубопроводов может быть построено на методах конструктивного моделирования, которое основано на четких правилах моделирования для объектов разных типов, подразумевает конечность объектов моделирования и стандартизированных единиц моделирования и реализует принцип *унификации*.

Для этого в процессе моделирования используют классификатор объектов моделирования. Пример классификатора объектов системы трубопроводного транспорта приведен на рисунке 2.13.

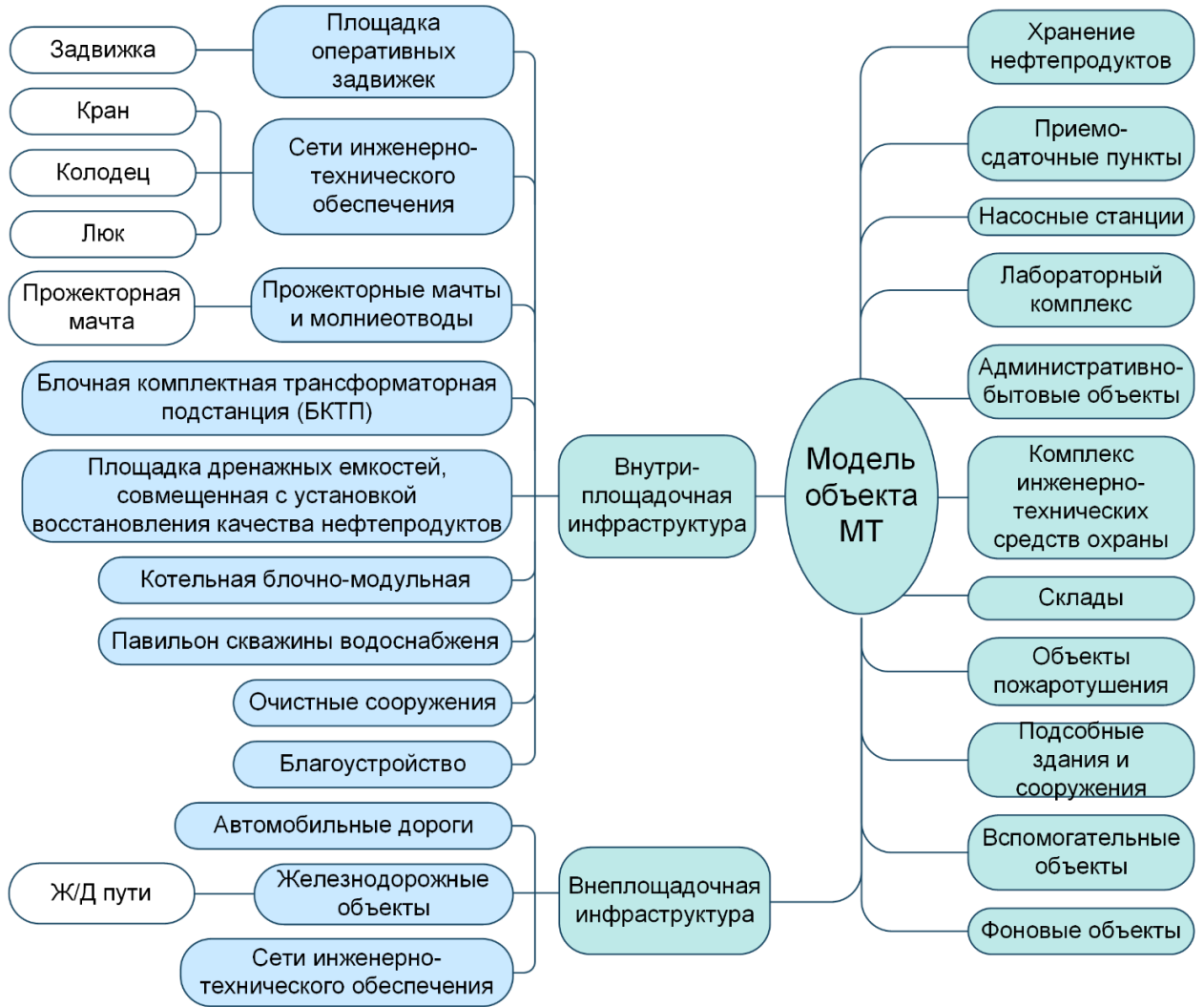


Рисунок 2.13 – Реализация принципа унификации в разработанном иерархическом классификаторе объектов системы трубопроводного транспорта

Классификатор строят, как правило, иерархический, при этом информационные единицы моделирования играют роль базовых элементов модели объекта исследования. Применение таких единиц обеспечивает логическую связанность элементов построенной геопространственной модели и возможность использования ее при системном анализе природно-технической системы. Принципиальная схема трехмерного моделирования объектов трубопроводного транспорта по данным лазерного сканирования приведена на рисунке 2.14.

Геопространственные модели объектов трубопроводного транспорта должны включать атрибутивную информацию, которая позволяет однозначно

идентифицировать объект, тем самым реализуя *принцип идентификации*. Геопро-
странственные модели могут содержать также данные о конструктивных характе-
ристиках и технических параметрах.

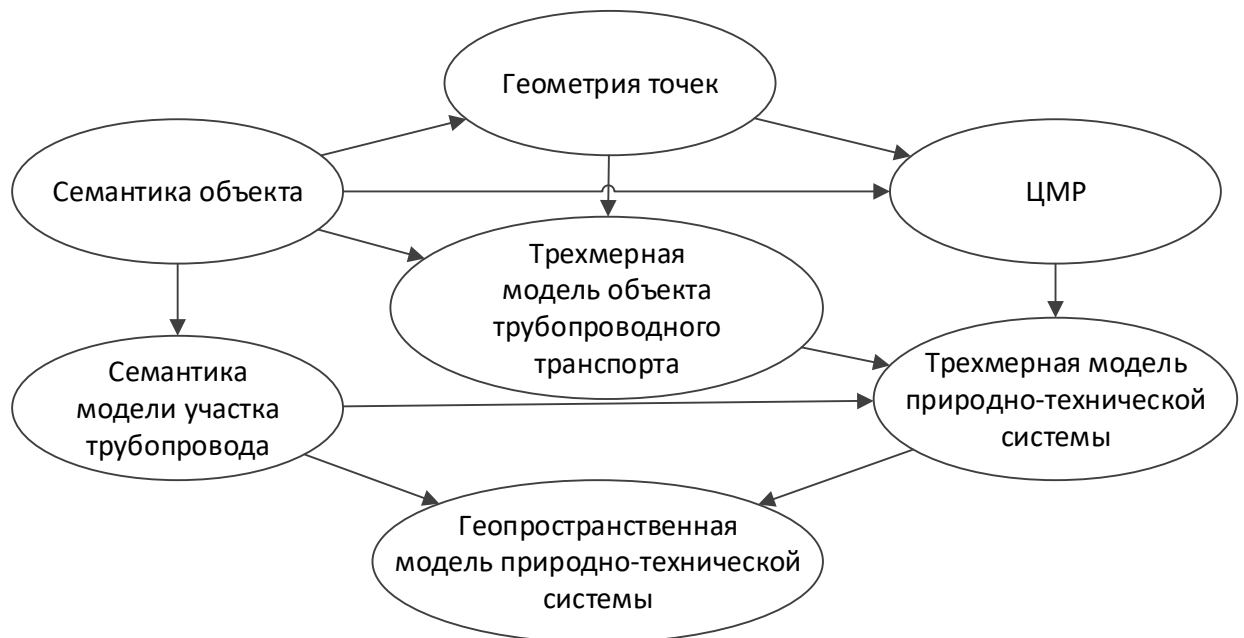


Рисунок 2.14 – Принципиальная схема геопро-странственного моделирования объектов трубопроводного транспорта по данным лазерного сканирования

Конструирование трехмерных моделей – часть геоинформационного моделирования – реализуется с помощью специализированного программного обеспечения.

В целях унификации трехмерные геопро-странственные модели формируют с помощью информационных единиц – базисных элементов модели [60]. Конструктивное моделирование требует обязательной классификации перед началом моделирования, поэтому необходимо проработать классификатор предметной области.

Важное требование – конечность объектов моделирования, необходимых для решения определенной задачи, а также базисных элементов, которые используют при моделировании отдельного объекта. Детализация моделирования определяется решаемой задачей и учитывается при формировании набора базисных элементов.

Применение методов конструктивизма тесно связано с технологиями управления сложными инженерными объектами. На основе конструктивизма возможно

устойчивое развитие и устойчивое будущее, в котором на базе прогнозирования могут быть созданы надежные технологии управления рисками. Такие подходы особенно востребованы при эксплуатации систем трубопроводного транспорта.

Выводы по второму разделу

Для обеспечения комплексных исследований объектов трубопроводных систем наземными, аэро- и космическими методами были разработаны *методологические основы формирования единого координатного пространства трубопроводного транспорта*, которое позволяет объединить данные космической съемки, данные получаемые методами ВЛС, НЛС и ЦАФС, а также данные, получаемые в линейных координатах, и способы определения пространственного положения трубопроводов надземной и подземной прокладки.

Определен порядок и состав работ по формированию единого координатного пространства. Разработаны рекомендации к созданию (развитию) опорной геодезической сети (плановой и высотной), к расположению полетных опорных базовых станций, созданию опорных знаков, проведению аэросъемочных работ и последующей обработке данных ДЗЗ для формирования геопространственных моделей объектов мониторинга. Разработанные методологические основы определяют методы фотограмметрической обработки, локализации на карте событий и явлений, полученных в линейных координатах, а также способы определения положения трубопроводов наземной и подземной прокладки в едином координатном пространстве.

Единое координатное пространство позволяет объединить для анализа и геопространственного моделирования данные ЦАФС, лазерного сканирования, данные внутритрубной диагностики, данные проектирования и полевых обследований. В рамках проведенного исследования теоретически обоснована необходимость и разработаны теоретические и методологические основы преобразования линейных координат трассы трубопровода в геодезические.

Предлагаемая методология геопространственного моделирования дает возможность типового моделирования для пространственно-распределенных объек-

тов магистральных трубопроводов и позволяет сформировать единое геоинформационное пространство трубопроводного транспорта с использованием материалов, получаемых дистанционными методами.

В процессе работы было выявлено, что наиболее перспективными методами исследования линейных объектов МТ является метод, когда материалы, полученные цифровой камерой, дополняют данные ВЛС, которые используются в комплексе, дополняя друг друга. При этом для проведения ЦАФС может использоваться БАС. При исследовании площадных объектов рекомендуется использовать технологии НЛС и ЦАФС в комплексе с полевыми геодезическими работами, что позволит обеспечить точность построения модели с ошибкой не более до 5 см на местности.

Современные исследования в области использования результатов цифровой аэросъемки и лазерного сканирования направлены на усовершенствование методов классификации, автоматизацию построения геопространственных моделей технических объектов, а также на развитие методов автоматизированного распознавания объектов инфраструктуры и проявлений опасных природных процессов [234, 247].

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

3.1 Разработка технологии мониторинга объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, ВЛС и методов геопространственного моделирования

Разработанная технология мониторинга объектов трубопроводного транспорта базируется на комплексе методологических принципов, теоретических и методологических основах формирования единого координатного пространства, аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования трубопроводных систем.

Теоретические основы заложены в методологии аэрокосмических исследований магистральных трубопроводов с использованием трехмерных цифровых моделей, которая определяет необходимость создания и использования трехмерных цифровых моделей для решения производственных задач в процессе мониторинга трасс трубопровода, таких как оценка технического состояния МТ; контроль качества строительных работ; мониторинг опасных природных процессов, протекающих в коридоре трассы трубопровода, прогноз их развития и оценка возможного влияния на трубопровод.

Мониторинг объектов МТ необходимо осуществлять с учетом динамики протекающих процессов, руководствуясь принципом динамичности, а также принципом системности, который говорит нам о необходимости исследования всех процессов, влияющих на трубопровод. Как правило, в процессе работ по мониторингу возникает необходимость использования комплекса средств измерений. В соответствии с принципом комплексности технологии мониторинга должны обеспечивать возможность анализа результатов наблюдений, полученных разными методами (рисунок 3.1).

Разработанная технология мониторинга объектов трубопроводного транспорта построена на согласованном применении современных средств дистанцион-

ного зондирования: лазерного сканирования и цифровой аэросъемки, многозональной космической съемки и методах геопространственного моделирования.

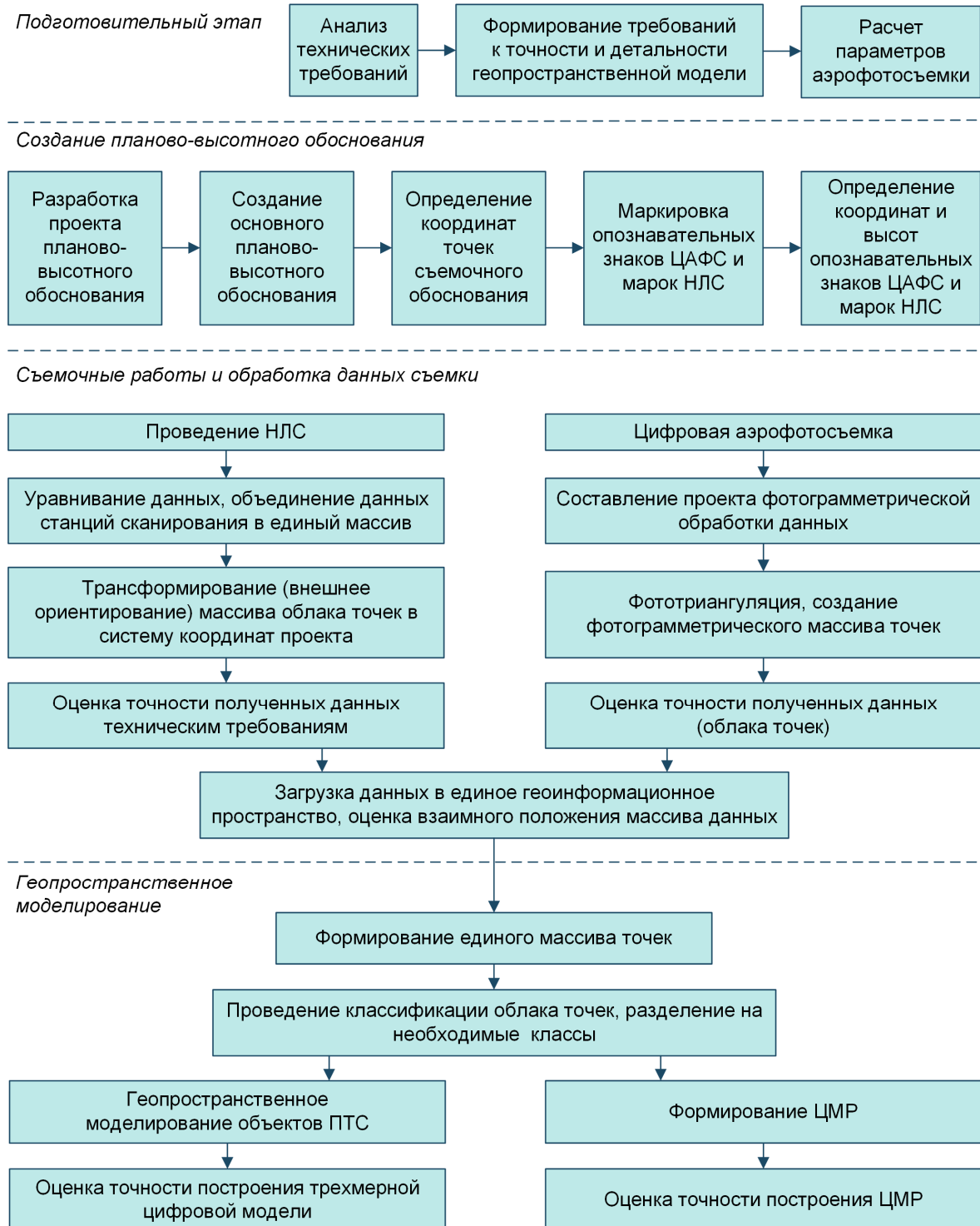


Рисунок 3.1 – Технологическая схема проведения мониторинга объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, НЛС и методов геопространственного моделирования

Использование указанных методов и технологий в процессе мониторинга объектов трубопроводного транспорта должно быть регламентировано, необходимо определить виды, объемы и сроки обследований трубопровода дистанционными методами (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Виды, объемы и сроки обследований объектов МТ дистанционными методами

Наименование обследования	Объект мониторинга	Сроки проведения		Периодичность
		Начало	Окон.	
Определение ПВП объектов ЛЧ МТ, ЦАФС и ВЛС с использованием местных геодезических сетей	Трубопровод по УОВ, УЗА, КПП СОД на участках без ММГ	Май	Сентябрь	1 раз в год
	Трубопровод по УОВ, опоры трубопровода по ДМ, опоры ВЛ, УЗА, КПП СОД на участках с ММГ	Март Сентябрь	Май Ноябрь	2 раза в год
Определение ПВП объектов НПС ЦАФС и НЛС с использованием полевых геодезических методов	НПС, включая технологические трубопроводы, на участках без ММГ	Май	Сентябрь	1 раз в год
	НПС, включая технологические трубопроводы, на участках с ММГ	Март Сентябрь	Май Ноябрь	2 раза в год
ВЛС совместно с ЦАФС	ЛЧ МТ, площадочные объекты	Май	Октябрь	1 раз в 3 года
	ЛЧ МТ, площадочные объекты на участках с ММГ, ОГП	Май	Октябрь	1 раз в год
НЛС совместно с ЦАФС	Объекты НПС на участках с ММГ	Июнь	Сентябрь	1 раз в год
	Участки ЛЧ МТ, подлежащие вскрытию при комиссионных обследованиях	Однократно, при выявлении		
ВТД	ЛЧ МТ	В соответствии с программой диагностического обследования трубопроводов		
	Участки ЛЧ МТ на ММГ			
Контроль за состоянием ППМТ методами ЦАФС	Мониторинг технического состояния берегоукрепительных сооружений	1 раз в квартал и после прохождения паводка		
	Мониторинг с целью выявления размывов береговой части реки	1 раз в год (после ледохода и паводка) в течении первых трех лет эксплуатации, в последующие годы – 1 раз в 2 года		

Аэрокосмический мониторинг ЛЧ МТ проводят:

– методом ВЛС с целью выявления наличия и развития опасных геологических процессов на ЛЧ и площадочных объектах МТ, контроля ПВП объектов линейной части МТ и технологических трубопроводов на НПС, определения отклонения от вертикали опор ЛЭП. Ширина полосы съемки и камеральной обработки

материалов ВЛС – не менее 150 м (не менее 75 м вправо и влево от оси трубопровода). Для выявления наличия и развития опасных геологических процессов в коридоре трассы трубопровода строят и используют цифровую модель рельефа, для контроля ПВП трубопровода подземной прокладки используют УОВ;

– методами аэрокосмической съемки с целью картографирования объекта мониторинга и прилегающей территории, выявления ОГП в коридоре трассы трубопровода.

Аэрокосмический мониторинг площадочных объектов МТ проводят:

– методом ВЛС на НПС – 1 раз в 3 года (при выполнении ВЛС ЛЧ МТ), при наличии ММГ и ОГП – 1 раз в год. Площадь съемки площадочных объектов – участок, ограниченный замкнутой линией, отстоящей от внешнего ограждения площадочного объекта не менее чем на 75 м во все стороны. При необходимости проводят НЛС, для анализа динамики используют цифровую модель рельефа с использованием местных геодезических сетей для увязки и анализа ЦМР разных лет;

– методом ЦАФС для НПС, основного и вспомогательного оборудования – однократно после ввода в эксплуатацию, реконструкции объекта МТ.

Наземное и воздушное лазерное сканирование осуществляют с целью контроля геометрических параметров и пространственного положения объектов МТ для обеспечения их надежной и безопасной эксплуатации, в том числе:

– определение отклонения геометрических параметров объектов МТ от проектных значений;

– определение относительного изменения ПВП.

Технология мониторинга объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, ВЛС и методов геопространственного моделирования включает этапы:

– подготовительный этап;

– создание планово-высотного обоснования;

– съемочные работы и обработка данных съемки;

– геопространственное моделирование, создание трехмерных цифровых моделей;

- пространственный анализ геометрических параметров объектов МТ (геометрии резервуаров, радиусов изгиба трубных секций, ПВП) и проявлений ОГП;
- принятие решений, формирование заключения.

Технология мониторинга объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, ВЛС и методов геопространственного моделирования ДЗЗ разработана с учетом существующих норм и правил [40–42, 138, 149, 158–161 и др.]. В том числе рекомендуется руководствоваться следующими документами.

ГОСТ Р 59562–2021 «Съемка аэрофототопографическая. Технические требования» при проведении работ по геодезическому обеспечению аэросъемочных работ, а также при анализе точности материалов аэрофотосъемки. Стандарт содержит: требования к составу работ по геодезическому обеспечению; требования к созданию съемочной геодезической сети временного или постоянного закрепления, погрешности планового положения пунктов СГС; требования к планово-высотной подготовке аэрофотоснимков и привязке контрольных точек.

ГОСТ Р 59328–2021 «Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования» при проведении аэросъемки, послеполетной и первичной обработки материалов аэросъемки.

РД-91.020.00-КТН-245–14 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Воздушное лазерное сканирование и цифровая аэрофотосъемка. Требования к организации и выполнению» содержит требования к составу, проведению работ по лазерному сканированию и ЦАФС магистральных трубопроводов и производственных площадок. В частности, он определяет точность измерения координат и высот базовых станций, определяет состав работ, требования к перекрытию между соседними проходами ВЛС и т. п.

В разработанной технологии реализован принцип единства измерений, который предполагает формирование единого координатного пространства для комплексной обработки данных аэросъемки, лазерного сканирования и полевых геодезических измерений. Технология определяет правила расположения базовых станций и опознаков, закреплению их на местности, точности определения их планово-

высотного положения; состав и требования к проведению работ по лазерному сканированию и ЦАФС.

3.2 Разработка технологии геопространственного моделирования объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования Земли на основе их классификации

Технология геопространственного моделирования объектов трубопроводного транспорта создана на принципах унификации и использует методы конструктивного моделирования.

Конструктивное моделирование основано на четких правилах моделирования для объектов разных типов и подразумевает конечность объектов моделирования и стандартизированных единиц моделирования. Для проведения моделирования используется классификатор объектов предметной области, который может быть многоуровневым (см. рисунок 2.13).

Классификатор должен включать все объекты, которые входят в объект моделирования, но при этом он может быть дополнен при моделировании другого технического объекта.

В процессе моделирования объектов МТ информационные единицы играют роль базовых элементов модели. Применение библиотеки базовых элементов модели позволяет снизить затраты при моделировании протяженных инфраструктурных объектов, унифицировать геопространственные модели и использовать результаты моделирования при системном анализе природно-технических систем трубопроводного транспорта.

Разработанные требования к уровню графической детализации базисных элементов объектов трубопроводного транспорта позволяют унифицировать требования к моделированию объектов трубопроводного транспорта на различных объектах, выполняемое разными подразделениями и организациями (таблица 3.2).

В качестве исходных данных для моделирования используются проектные данные, облака точек лазерного сканирования, материалы ЦАФС, данные полевых наблюдений, измерения на местности, фотографии (рисунок 3.2).

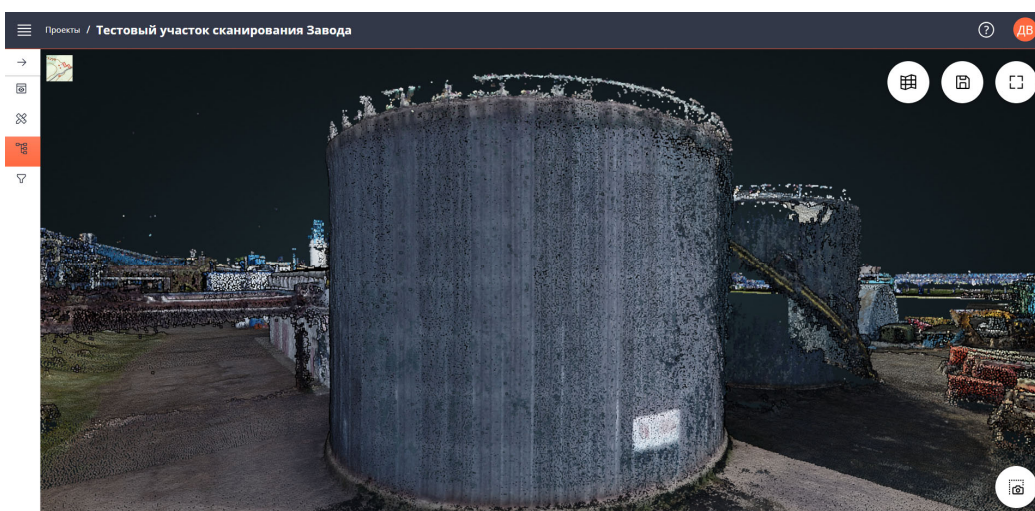


Рисунок 3.2 – Резервуар стальной цилиндрической в облаке точек, полученном в процессе НЛС в программном обеспечении МПТС [176]

Геопространственное моделирование объектов трубопроводного транспорта необходимо осуществлять с помощью специализированного программного обеспечения: Кредо 3D Скан, SketchUp (рисунок 3.3).

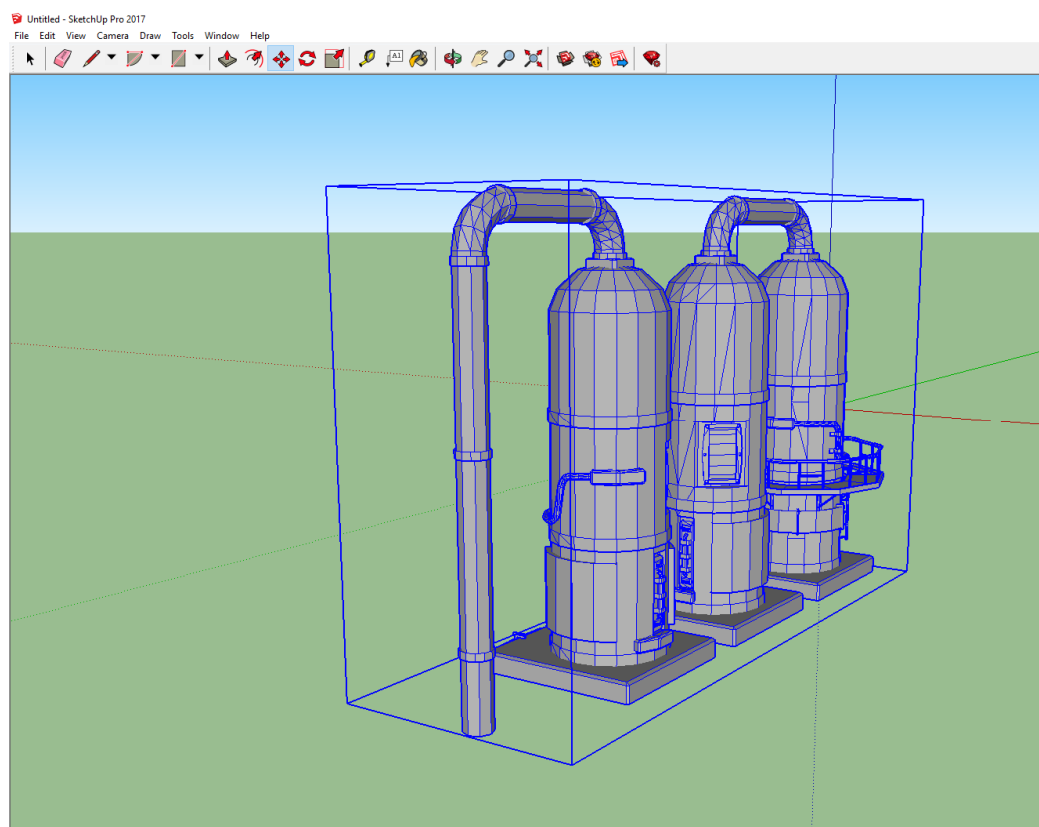


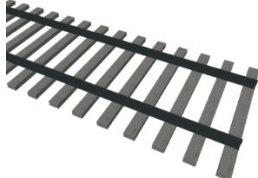


Рисунок 3.3 – Модель резервуаров в ПО SketchUp Pro 2017

Моделирование объектов осуществляют с использованием набора геометрических примитивов. Основные габаритные размеры берут из облака точек, паспорта объекта, материалов геодезических изысканий, если требуется достичь максимального внешнего сходства, в качестве текстуры можно использовать фотографии, полученные в процессе полевого обследования объекта моделирования.

Таблица 3.2 – Требования к уровню графической детализации базисных элементов объектов трубопроводного транспорта (фрагмент), в разработанной технологии дешифрирования объектов

Наименование элемента	Описание	Графическое представление
Задвижка	Отображается общий вид, состоящий из набора геометрических примитивов, поверхностей, отражающий основные габаритные размеры. Для формирования модели рекомендуется использовать паспорт задвижки	
Кран	Модель формируется из набора геометрических примитивов, отражающих основные габаритные размеры. При этом желательно достичь внешнего сходства с оригиналом	
Колодец	Модель строится из набора геометрических примитивов и должна передать основные габаритные размеры колодца	
Люк	При моделировании передаются основные габаритные размеры люка, используются геометрические примитивы	
Прожекторная мачта	Необходимо достичь внешнего сходства с оригиналом, должны присутствовать основные элементы конструкции. При моделировании используется набор геометрических примитивов и поверхностей	
Железнодорожные пути	Модель формируется из набора геометрических примитивов для отображения элементов конструкции (рельсов, шпал) с наложением соответствующих текстур. При наличии отображается насыпь	

Технология геопространственного моделирования разрабатывалась помимо принципа унификации с учетом принципов единства измерений, идентификации, динамичности и интерпретируемости (рисунок 3.4).

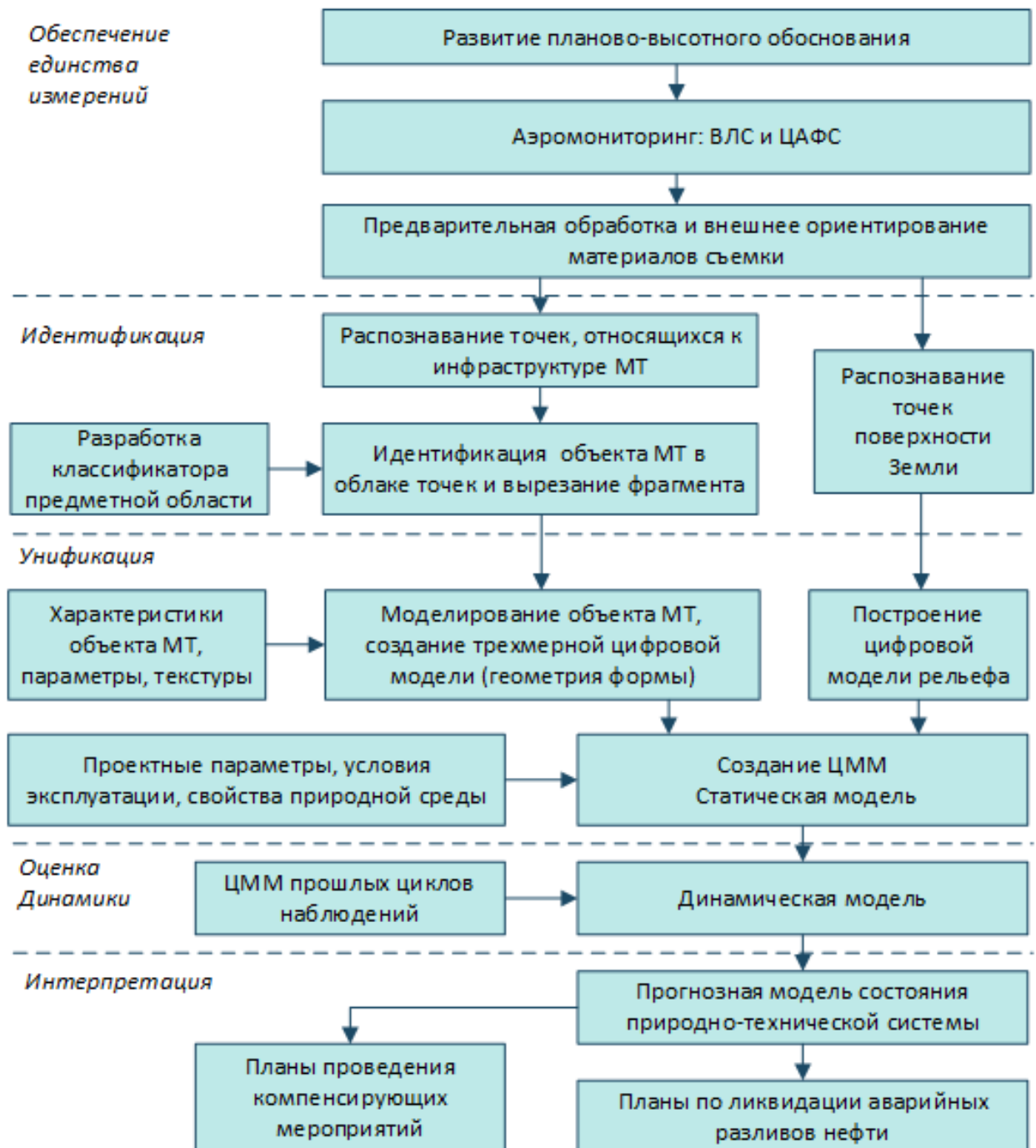


Рисунок 3.4 – Принципиальная технологическая схема геопространственного моделирования объектов МТ по данным ДЗЗ на основе их классификации

Технология геопространственного моделирования объектов МТ по данным ДЗЗ основана на следующих принципах, которые дополняют друг друга.

Принцип единства измерений, который реализуется в развитии планово-высотного обоснования, внешнем ориентировании материалов съемки и формировании единого геоинформационного пространства, для обработки данных мониторинга, геопространственного моделирования и анализа данных мониторинга.

Принцип идентификации реализуется на этапе камеральной обработки.

Заключается в разработке классификатора предметной области, на основании которого мы *идентифицируем* элементы инфраструктуры. Также на этом этапе мы формируем отдельные классы облаков для построения ЦМР, а также растительности и водных объектов (при необходимости).

Принцип унификации используется на этапе геопространственного моделирования, когда с помощью набора геометрических примитивов получают трехмерные цифровые модели объектов инфраструктуры трубопровода, цифровую модель рельефа и как результат цифровую модель местности участка МТ.

Принцип динамичности определяет необходимость оценки динамики изменений с использованием трехмерных цифровых моделей прошлых этапов мониторинга, выявления изменений в рельефе, планово-высотном положении элементов инфраструктуры, проявлений ОГП.

Принцип интерпретируемости реализуется в формировании прогнозной модели состояния природно-технической системы, которая может включать оценку планово-высотного положения объектов МТ, прогноз протекания процессов в природной среде [173, 174]. Эта модель используется для принятия решений и планировании мероприятий для обеспечения безопасной эксплуатации трубопровода.

В соответствии с приведенными принципами разработана принципиально новая технология создания и использования трехмерных цифровых моделей объектов инфраструктуры и природной среды при аэрокосмическом мониторинге трубопроводных систем (рисунок 3.5).

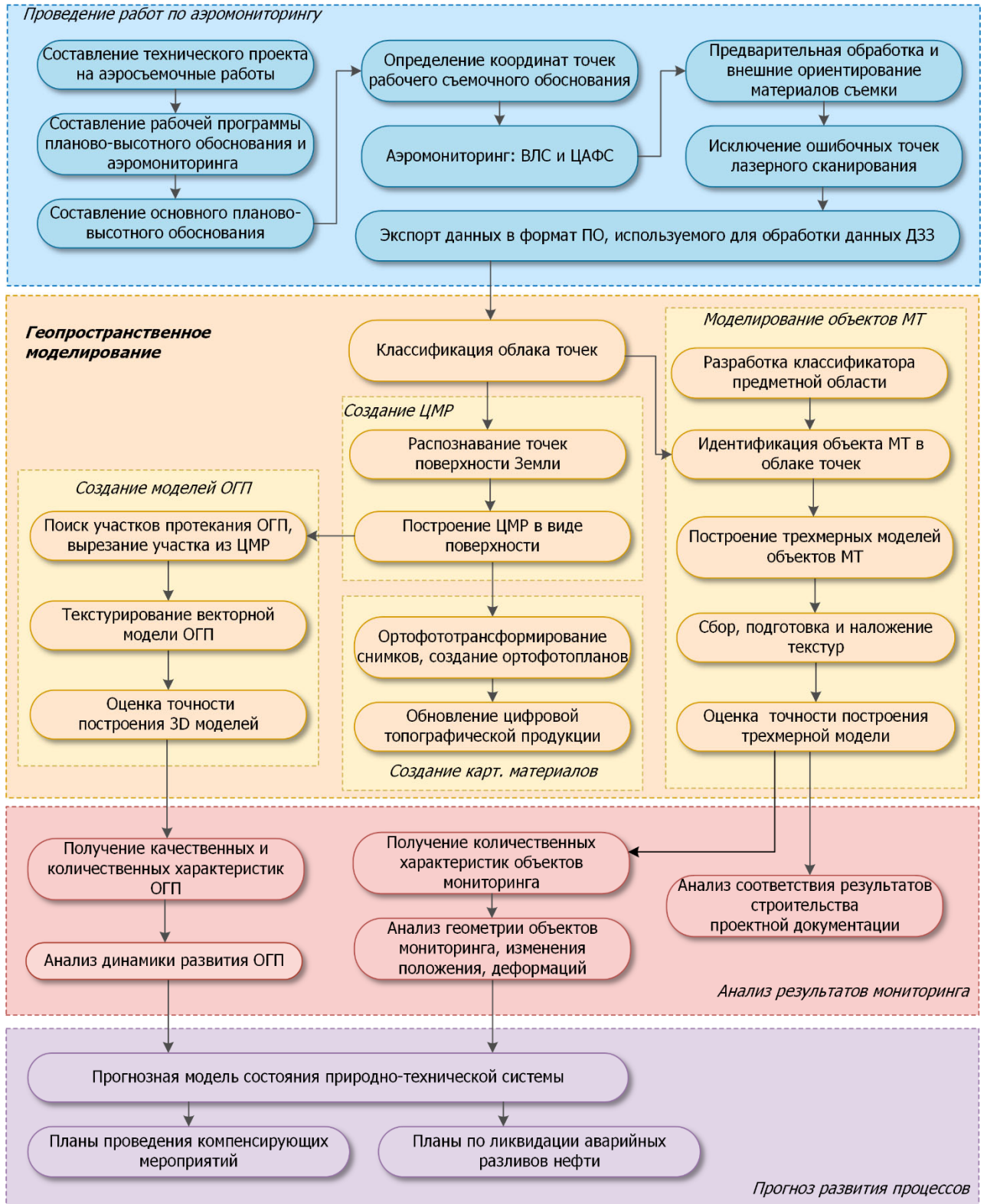


Рисунок 3.5 – Технология геопространственного моделирования объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования Земли на основе их классификации

Первый этап работы включает: составление технического проекта и программы съемочных работ, составление планово-высотного обоснования, проведение рекогносцировочных работ на местности с составлением абрисов и схем маршрутов съемки. Затем следует выполнение ВЛС и ЦАФС, предварительная обработка данных и их экспорт в формат ПО для обработки материалов ДЗЗ.

На втором этапе производится камеральная обработка материалов, полученных в процессе мониторинга трубопровода, с получением ЦМР, ЦММ, ортофотопланов, топографических материалов, моделей природных процессов и 3D-моделей объектов МТ.

На третьем этапе выполняют анализ результатов 3D-моделирования, который позволяет получить качественные и количественные параметры объектов природно-технической системы, а также выявить изменения в геометрии объектов мониторинга, их положения, наличия деформаций, соответствие положения объектов проектной документации. Результаты анализа позволяют прогнозировать развитие природных процессов и характер изменений МТ при их воздействии.

На четвертом этапе строят прогнозные модели состояния природно-технической среды, которая основана на полученной ЦММ, учитывает динамику динамики происходящих изменений и результаты анализа протекающих процессов. Такая модель может содержать, например оценку изменений в планово-высотном положении объектов инфраструктуры при текущих условиях и в случае реализации компенсирующих мероприятий, или отобразить величину оттаивания ММГ при эксплуатации нефтепровода в текущем режиме.

3.3 Разработка технологии дешифрирования на аэрокосмических изображениях объектов магистральных трубопроводов с использованием системы линейных координат

При решении отраслевых задач, связанных с обработкой пространственных данных, для предприятий трубопроводного транспорта в первую очередь возникает потребность в информации о магистральных трубопроводах и объектах инфра-

структуры, расположенных в полосе интереса эксплуатирующих подразделений. Как правило, полнота и актуальность пространственной информации, имеющейся в распоряжении эксплуатирующих подразделений, является недостаточной, данные недостоверными и часто противоречивыми, что приводит к необходимости проведения работ по уточнению положения объектов трубопроводных сетей в пространстве.

Одним из источников получения объективных и актуальных данных могут являться материалы дистанционного зондирования Земли. Вопрос приобретения материалов космической съемки является очень чувствительным, так как стоимость материалов ДЗЗ является высокой и важно иметь точное представление, для решения каких производственных задач и каким образом данные материалы могут быть использованы.

В процессе исследования установлено, что основным методом определения объектов трубопроводного транспорта по материалам аэрокосмических съемок является метод визуального дешифрирования. Визуальное дешифрирование играет первостепенную роль в восприятии окружающего пространства. Формализация дешифровочных признаков технологических объектов не представляется возможной без логического восприятия специфических характеристик и анализа связей между элементами изображения. Любому автоматизированному распознаванию образов предшествуют визуальные исследования.

Методы визуального дешифрирования аэрокосмических изображений широко известны и описаны в специальной литературе [18, 68, 90, 104, 163, 207] и работах специалистов, посвященных вопросам изучения природно-технической среды с использованием материалов ДЗЗ [7, 11, 12, 21, 22, 24, 28, 45, 51, 97, 155, 156, 193, 194, 201–204, 212–214, 260, 266].

Практическая работа по дешифрированию объектов инфраструктуры магистральных трубопроводов показала, что магистральные трубопроводы – довольно сложные в техническом плане производственные комплексы, поэтому тщательная проработка деталей распознавания узлов, агрегатов, зданий для их размещения на

снимках позволит в дальнейшем корректно извлекать и накапливать информацию, необходимую для оперативной и бесперебойной работы геоинформационных систем.

Дешифрируя объекты, обеспечивающие функционирование нефтегазового комплекса, специалисты распознают изображения оборудования магистрального трубопровода на снимках, определяют их габаритные размеры и иные характеристики, выявляют взаимосвязи между устройствами и агрегатами и оформляют результаты в виде графической схемы.

Используя различные технологические схемы дешифрирования, мы выполняем следующие операции:

1) изучение методических рекомендаций по данному виду дешифрирования, анализ производственной документации по объекту исследования и картографических материалов на территорию, расположенную по маршруту трассы;

2) анализ состава объектов дешифрирования (определение перечня отдельных элементов объектов производственной инфраструктуры, подлежащих распознаванию, на основе эксплуатационной документации);

3) подбор материалов ДЗЗ и предварительная обработка космических изображений;

4) дешифрирование космических изображений с использованием дополнительного материала (технологические схемы и паспорта трубопроводов), которые служат для уточнения определяемых объектов на участке МТ);

5) оформление графической схемы дешифрирования.

Ключевыми исследованиями являются работы по визуальному дешифрированию космических изображений. Однако следует учитывать, что при дешифрировании исполнитель может столкнуться как с избытком информации, присутствующей на снимке, так и с ее недостатком. Во многом это определяется пространственным разрешением используемых снимков.

Разработанная технология визуального дешифрирования объектов магистральных трубопроводов на аэрокосмических изображениях предусматривает распознавание объектов природно-технической среды, а затем их графическое выделение на снимке (рисунок 3.6).

При дешифрировании технологических объектов крайне полезны профили, технологические схемы и ситуационные планы для уточнения результатов дешифрирования и для и оценки полученных результатов [140].

Для уверенного дешифрирования космических снимков необходимы специализированные знания и опыт. Это важное требование в определенной степени компенсируется наличием перечня уникальных объектов.

В основе разработанной технологии дешифрирования объектов МТ по аэрокосмическим изображениям лежат с одной стороны методы визуального дешифрирования, а с другой – метод идентификации объекта с использованием технологических схем, эксплуатационных документов и СЛК в соответствии с разработанным принципом идентификации (рисунок 3.7).

Объекты МТ, как правило, локализованы на протяженной территории вдоль трассы трубопровода или на производственных площадках. Характерным признаком прохождения трассы является полоса хозяйственной деятельности, включающая в себя такие элементы, как просеки, вдольтрассовые проезды, грунтовые валики над трубопроводом и др.

Одним из важных факторов, затрудняющих дешифрирование объектов инфраструктуры трубопроводов, является зарастание трассы травой и кустарниками. Для исключения слабой распознаваемости среди растительности и в тенях хорошо показала себя практика использования разновременных снимков, которые обеспечивают несколько взаимно дополняющих вариантов отображения ситуации и деталей местности.

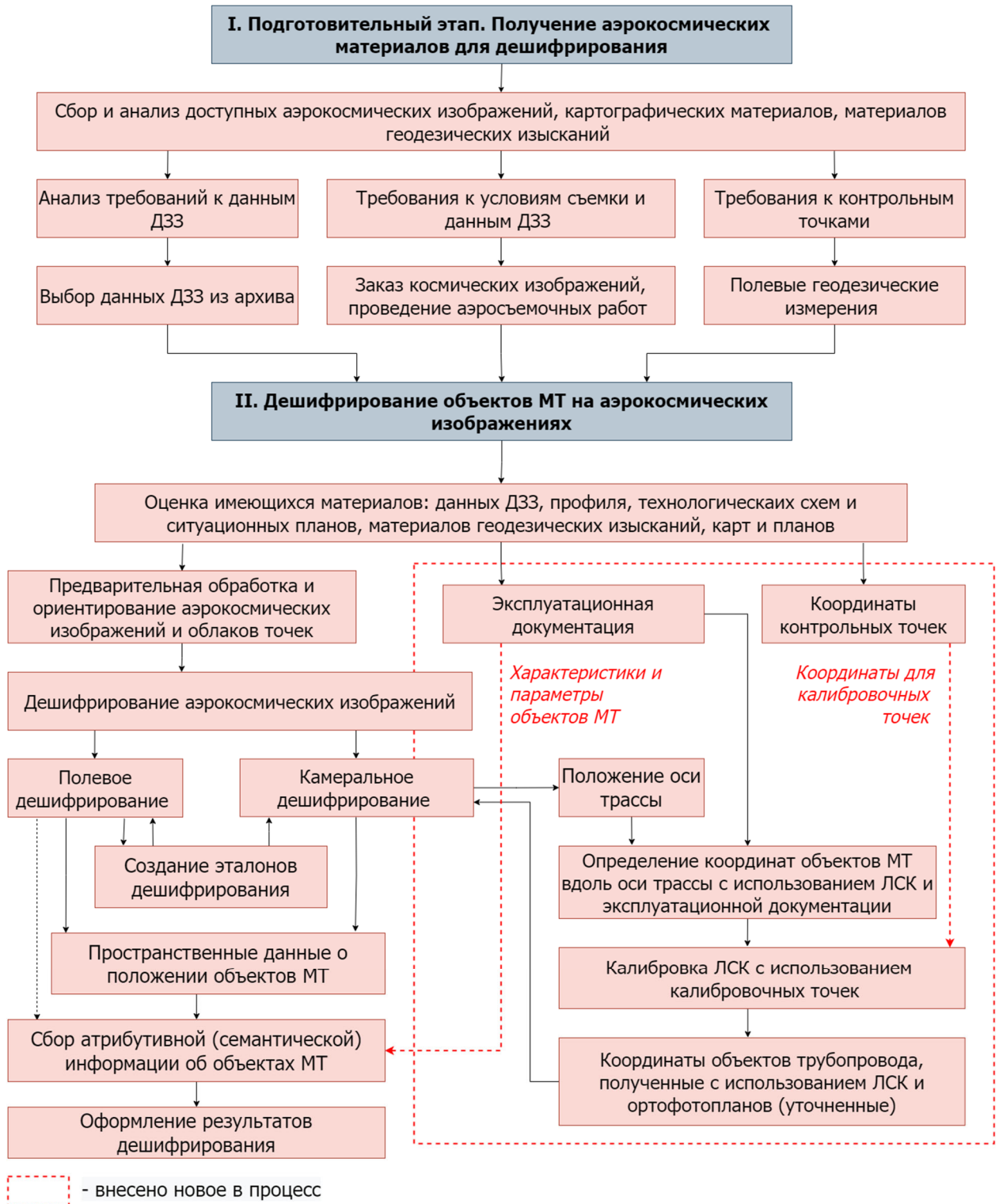
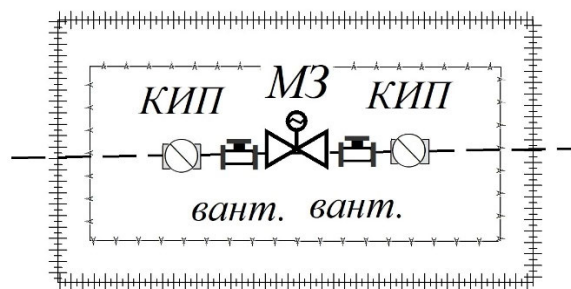


Рисунок 3.6 – Технологическая схема дешифрирования объектов МТ на аэрокосмических изображениях с использованием дополнительных данных в процессе аэрокосмического мониторинга



а)



б)

Рисунок 3.7 – Реализация принципа идентификации в технологии дешифрирования объектов системы трубопроводного транспорта:

а) космическое изображение; б) схема дешифрирования МТ

В процессе работ по дешифрированию, согласно п. 5.9 [37], следует придерживаться следующих рекомендаций:

- отдавать приоритет материалам, которые наиболее соответствуют современному состоянию местности и не содержат субъективных ошибок;
- оценивать достоверность распознавания объекта МТ с учетом количества использованных для опознания признаков изображения объекта;
- ранжировать признаки объекта МТ в соответствии с их значимостью для опознания объекта в конкретной ситуации.

Для обеспечения полноты и достоверности распознанных на местности объектов и их атрибутов (в основном, уникальных номеров и названий) в обязательном порядке привлекаются специалисты производственных подразделений, непосредственно эксплуатирующих данный участок трассы трубопровода или промплощадку.

В случае, если информативность полученных схем является недостаточной, невозможно только по материалам аэрокосмической съемки и имеющейся в наличии документации нанести некоторые объекты и/или их характеристики, например, подземные коммуникации, тип растительности, назначение зданий и др. Такие дан-

ные могут быть получены по материалам полевого дешифрирования и полевых инженерных изысканий.

По результатам камеральных работ по дешифрированию инфраструктуры магистральных трубопроводов на нескольких участках прохождения трассы были получены перечни объектов, распознаваемых на космических изображениях с пространственным разрешением 1,5 м/пикс, а также на космических изображениях с пространственным разрешением 0,5 м/пикс. Перечни объектов приведены в таблицах 3.3, 3.4.

Данные о возможности дешифрирования объектов трубопроводного транспорта можно рекомендовать к использованию при планировании работ по обновлению картографических материалов и заказе космических снимков.

Исследования показали, что информативность космических снимков с разрешением 0,5 м/пикс в совокупности с эксплуатационной документацией позволяет дешифрировать объекты в соответствии с требованиями к составу топографических планов масштаба 1 : 2 000 и выполнять инвентаризацию оборудования линейной части МТ и площадок НПС [91].

Таблица 3.3 – Перечень объектов, распознаваемых на космических изображениях с пространственным разрешением 1,5 м/пикс и крупнее

№ п/п	Класс объекта	Тип геометрии	Дешифровочные признаки
1	2	3	4
1	Технические коридоры МТ	линейная	Территория расположения элементов линейной части МТ и хозяйственной деятельности вдоль трассы МТ. В отдельных случаях также распознаются и оси МТ, но с низкой точностью и полнотой состава объектов
2	Площадки НПС, линейные производственно-диспетчерские станции, узлы запорной арматуры, камеры пуска-приема средств очистки и диагностики	точечная	Объект, имеющий ограниченную территорию, площадь которой может составлять от 400 до 6 000 м ²
3	Площадки (схематический контур)	площадная	Объект, имеющий ограниченную территорию, площадь которой может составлять от 400 до 6 000 м ²
4	Башенные и мачтовые сооружения	площадная	Радиомачты, радиобашни, опоры линий электропередачи (ЛЭП) и каркасы опор дымовых и вытяжных труб. Объекты с плановыми габаритами от 3 м по короткой стороне

Окончание таблицы 3.3

№ п/п	Класс объекта	Тип геометрии	Дешифровочные признаки
1	2	3	4
5	Башенные и мачтовые сооружения	точечная	Радиомачты, радиобашни, опоры ЛЭП и каркасы опор дымовых и вытяжных труб. Объекты с плановыми габаритами от 3 м по короткой стороне
6	Валы защитные и противозрозийонные	линейная	Линейно протяженный объект шириной от 3 м
7	Здания и производственные сооружения	площадная	Объект, имеющий площадь от 10 м ² и плановыми габаритами от 3 м по короткой стороне
8	Мосты	площадная	Линейно протяженный объект шириной от 6 м
9	Оси дорог и улиц	линейная	Линейно протяженные объекты шириной от 4 м. В отдельных случаях распознаются неуверенно
10	Оси технологических эстакад	линейная	Линейно протяженный элемент площадки, ширина от 2 м
11	Оси вдольтрассовых проездов	линейная	Линейно протяженные объекты шириной от 4 м. В отдельных случаях распознаются неуверенно
12	Пересечения МТ	точечная	Пересечения трассы трубопровода с другими трубопроводами различного назначения. В отдельных случаях распознаются неуверенно
13	Пересечения ЛЭП	точечная	Пересечения трассы трубопровода с ЛЭП различного напряжения и плановых размеров опор
14	Пересечения с автодорогами различных категорий	точечная	Пересечения трассы трубопровода с дорогами шириной не менее 4 м
15	Пересечения объектов гидрографии	точечная	Пересечения трассы трубопровода с реками и ручьями шириной не менее 3 м
16	Резервуары крупные цилиндрические вертикальные	площадная	Сооружение круглой формы диаметром 5–15 м
17	Технологическое оборудование (КПП СОД и др.)	линейная	Объекты, имеющие различную плановую конфигурацию с отдельными элементами габаритами не менее 1,5–2 м. В отдельных случаях распознаются неуверенно
18	Технологическое оборудование (контуры)	площадная	Объекты, имеющие различную плановую конфигурацию с отдельными элементами габаритами не менее 1,5–2 м. В отдельных случаях распознаются неуверенно

Таблица 3.4 – Перечень объектов, распознаваемых на космических изображениях с пространственным разрешением 0,5 м/пикс (фрагмент)

№ п/п	Класс объекта	Тип геометрии	Дешифровочные признаки
1	Ось МТ	линейная	Линейный объект значительной протяженности, дешифрируемый по сопутствующим элементам трассы МТ – УЗА, задвижкам, защитному валику
2	Задвижки МТ больших диаметров	точечная	Технологический элемент с плановыми габаритами не менее 1 м. Находится на площадке УЗА. Может быть оборудован площадкой обслуживания и защищен навесом площадки габаритами не менее 2 м. Косвенные дешифровочные признаки – имеет ограждение или борта отсыпки площадки УЗА
3	Вантузные тройники	точечная	Технологический элемент с плановыми габаритами не менее 1 м. В отдельных случаях не распознаются, так как могут находиться под засыпкой

Окончание таблицы 3.4

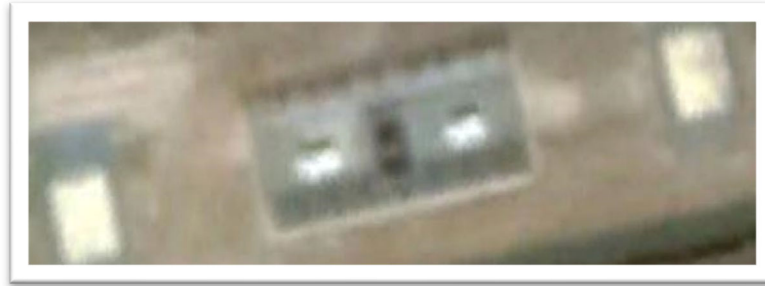
№ п/п	Класс объекта	Тип геометрии	Дешифровочные признаки
4	Колодцы отбора давления	точечная	Технологический элемент с плановыми габаритами не менее 1 м. Находится, как правило, на площадке УЗА. Косвенные дешифровочные признаки – ограждение или борта отсыпки площадки УЗА
5	Площадки обслуживания	площадная	Технологический элемент с плановыми габаритами не менее 2 м. Может обрамлять задвижки МТ больших диаметров или быть расположен на площадках с оборудованием
6	Борт грунтовой отсыпки	линейная	Линейно протяженный элемент площадки шириной от 1 м и более
7	Башенные и мачтовые сооружения	точечная	Радиомачты, радиобашни, опоры ЛЭП, громоотводы, каркасы опор дымовых и вытяжных труб. Объекты с плановыми габаритами от 1 м по короткой стороне
8	Трубы под дорогами и водосливные	линейная	Линейно протяженный технол. элемент с формой сечения шириной от 1 м. Косвенные дешифровочные признаки – автодороги, оборудованные покрытия, защищающие от размыва, объекты гидрографии
9	Ограждения	линейная	Линейно протяженная конструкция. Ширина может быть менее полуметра. Дешифрируется уверенно, имеют правильную геометрию значительной протяженности и сопровождает контуры площадок
10	Опоры ЛЭП (столбы)	точечная	Вертикальные конструкции с небольшими с плановыми размерами 0,3–1 м, но часто дешифрируются уверенно, так как имеют правильную геометрию значительной протяженности.

Космические снимки с разрешением 1,5 м на пиксель изображения можно использовать при составлении карт-схем, содержащих упрощенные пространственные данные [45].

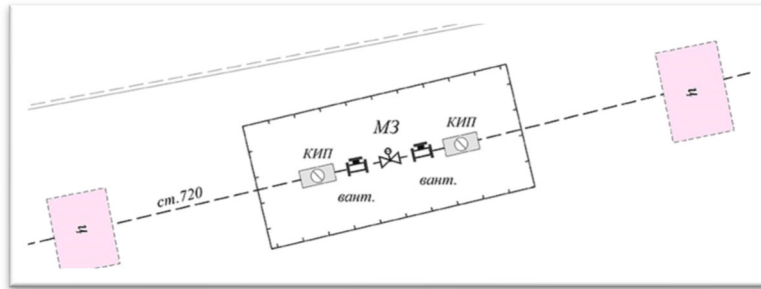
На рисунке 3.8 показаны узел запорной арматуры МТ на космическом изображении с пространственным разрешением 0,5 м/пиксель и схема, полученная в результате дешифрирования.

На схеме отображена площадка запорной арматуры на линейной части магистрального нефтепровода, в том числе: магистральная задвижка, два вантуза, контрольно-измерительные пункты, ограждения. Эти объекты не видны на снимках с разрешением 1,5 м/пикс, но дешифрируются по космическим изображениям с разрешением 0,5 м/пикс и крупнее.

Пространственное разрешение определяет информационные свойства спутниковых изображений и обуславливает состав и количество распознанных объектов, что очевидно из приведенных примеров.



а)



б)

Рисунок 3.8 – Пример космической съемки и схемы дешифрирования узла запорной арматуры магистрального трубопровода по космическому изображению разрешением 0,5 м/пиксель:

а) космический снимок; б) схема дешифрирования

Полевые работы по обследованию и дешифрированию объектов трубопроводного транспорта должны выполняться на созданных по результатам аэросъемочных работ топографических планах в соответствии с требованиями [185].

В состав работ при полевом дешифрировании входят:

- проверка по заданным маршрутам и площадям полноты и правильности выполнения камерального дешифрирования;
- определение величины в плане выступающих деталей отдельных зданий и сооружений (карнизов, свесов крыш и др.), перекрывающих линию основания;
- уточнение характеристик строений;
- инструментальная съемка элементов ситуации, зданий и сооружений (опор мостов и транспортных развязок, водопропускных труб и т. д.), не отображенных на планах по результатам аэросъемки;

- инструментальная съемка элементов рельефа, не отображенных на планах по результатам лазерной локации;
- обследование инженерных коммуникаций, получение их технических характеристик, согласование полноты и правильности нанесения подземных коммуникаций на планы с собственниками (эксплуатирующими организациями).

Результаты полевого дешифрирования используются для корректировки геопространственных данных, созданных по материалам аэросъемочных работ.

Дополнительным важным прикладным аспектом является возможность использования снимков разрешением 0,5 м/пикс для формирования, развития и калибровки систем линейных координат (СЛК). Предприятия транспорта нефти широко используют СЛК для описания пространственного положения объектов инфраструктуры.

3.3.1 Методы формирования единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта с использованием системы линейных координат

Системы линейных координат позволяют решать задачи создания пространственных данных, основываясь на информации об относительном местоположении объектов вдоль уже измеренного линейного пространственного объекта.

Объект, события, характеристики или параметры линейного объекта, расположенные вдоль линейного объекта, имеют координаты, определяющие его местоположение относительно начала или фиксированной точки на линии. Событие может быть линейным или точечным объектом на линии.

Создание системы линейных координат вдоль исследуемого линейного объекта (например, магистрального трубопровода) начинается с калибровки маршрута, то есть расчета измерений на линии. Для этого необходимы минимум две точки на линии с известными значениями. Такие точки называют калибровочными.

Одной из ключевых возможностей системы линейных координат является связывание атрибутивной информации с участками линейного объекта без разбиения. Параметры или характеристики могут быть присвоены участкам линии с по-

мощью системы линейных координат, что позволит избежать сегментирования целого объекта.

Объекты в системе линейных координат формируются на основании таблицы событий, имеющих координату вдоль линейного объекта. В соответствии с типом события таблица включает в себя либо одно измерение для точечного события, либо два, фиксирующих начальное или конечное положение линейного события. Кроме того, в системе линейных координат обязательно наличие идентификатора маршрута, необходимого для привязки событий.

Примерами решаемых задач с использованием СЛК в трубопроводном транспорте могут служить задачи:

- создание векторного представления участков трубопровода разной прокладки (рисунок 3.9);
- создание векторного представления дефектов трубы по данным ВТД [146].



Рисунок 3.9 – Создание векторного представления участков трубопровода разной прокладки с использованием СЛК

Система линейных координат является ключевым инструментом для формирования единого геоинформационного пространства трубопроводного транспорта, автоматизации при обработке данных ВТД, проведении пространственного анализа и принятии решений в процессе мониторинга природно-технических систем МТ.

Разработанная технология формирования единого геоинформационного пространства основана на развертывании системы линейных координат вдоль трассы трубопровода и повышении ее точности по данным ДЗЗ с использованием методов дешифрирования на аэрокосмических изображениях объектов магистральных трубопроводов (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Технология формирования единого геоинформационного пространства с использованием СЛК и данных ДЗЗ

Для создания векторного представления объектов МТ с использованием СЛК необходима информация о позиционировании объекта вдоль трубы, то расстояние, на котором располагается объект. Источником таких данных могут являться эксплуатационная документация трубопровода и отчеты о проведении ВТД. Использование этих данных приоритетно для построения СЛК. Кроме того, отчеты ВТД располагают информацией о линейных координатах объектов, которые могут быть использованы в качестве калибровочных точек: камер пуска и приема средств очистки и диагностики (КПП СОД), запорной арматуры (ЗА), пересечений трубопровода с автомобильными и железными дорогами и могут быть полезны для дешифрирования самих этих объектов на аэрокосмических изображениях.

Повышение точности СЛК производится путем увеличения количества калибровочных точек, а также уточнения положения калибровочных точек и оси трассы трубопровода по материалам ДЗЗ.

3.3.2 Переход от геодезических координат к линейным

Калибровочные точки трубопровода, геодезические координаты которых известны, например, камера пуска/приема СОД, находятся обычно на удалении одна от другой, не превышающем 200 км. События на трассе, участки секций, объекты МТ с известными линейными координатами распределяют на трассе трубопровода между ближайшими калибровочными точками. Таким образом, чем ближе располагаются калибровочные точки, тем ближе положение объекта на карте к истинному положению объекта на местности.

Рассмотрим решение в случае, когда можно пренебречь несущественным уменьшением точности в пользу простоты решения и свести задачу к плоской, перейдя от геодезических координат к декартовым. Будем считать, что любая точка T_i может задаваться как координатами на декартовой плоскости (X_i, Y_i) , так и линейной координатой M_i на оси трассы трубопровода.

Покажем, как можно перейти от декартовой системы координат к линейной и обратно.

Имеется множество координат точек

$$(X_i, Y_i), i = \overline{0, N-1}, \quad (3.1)$$

где N – количество точек.

Это множество задает геометрию трубопровода. Тогда при использовании Евклидовой метрики справедливы следующие рекуррентные соотношения:

$$\begin{aligned} M_0 &= 0, \\ M_i &= M_{i-1} + \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2}, i = \overline{1, N-1}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

3.3.3 Переход от линейных координат к декартовым координатам карты

Имеется множество точек $M_i, i = \overline{0, N-1}$, а также декартовы координаты начальной и конечной точки участка (X_0, Y_0) и (X_{N-1}, Y_{N-1}) . Без уменьшения общности можем считать, что направление оси X совпадает с направлением прямой, соединяющей начальную и конечную калибровочные точки. Если это не так, угол поворота системы координат находится как

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}, \quad (3.3)$$

и координаты в новой системе, повернутой относительно исходной на угол α , получаются умножением исходных координат на матрицу поворота R :

$$R(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}, \quad (3.4)$$

а для обратного перехода с учетом направления поворота получаем

$$R^{-1}(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}. \quad (3.5)$$

Так как данными о нахождении точек M_i относительно прямой, соединяющей начальную и конечную калибровочные точки мы не располагаем, и нас интересует наибольшее отклонение, будем считать, что все они находятся по одну сторону от этой прямой. Причем, на максимальном удалении от прямой будет точка, которая проецируется на середину отрезка $[X_0, X_{N-1}]$.

Нетрудно видеть (рисунок 3.11), что до середины отрезка $[X_0, X_{N-1}]$ точки лежат на прямой g с угловым коэффициентом $k = \frac{\sqrt{(M_{N-1}-M_0)^2 - (X_{N-1}-X_0)^2}}{X_{N-1}-X_0}$, а после его середины на симметричной ей относительно оси ординат прямой с угловым коэффициентом $-k$.

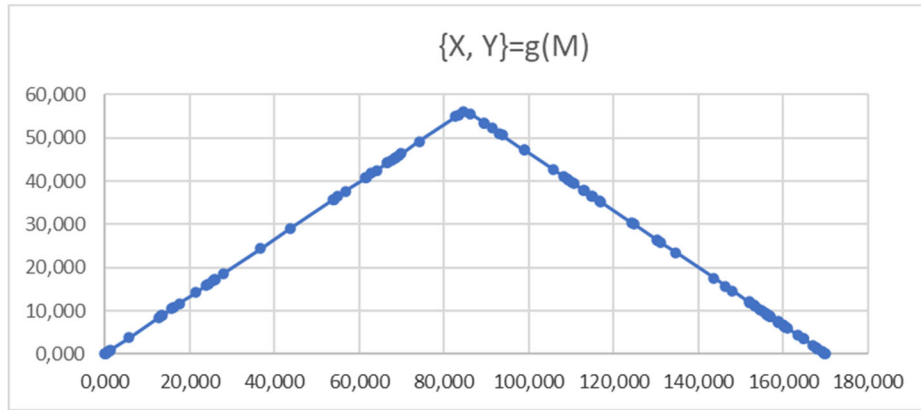


Рисунок 3.11 – Максимальное отклонение трассы трубопровода от прямой, соединяющей калибровочные точки

Обозначим точку прямой g середину отрезка $[X_0, X_{N-1}]$ буквой S . Эта точка имеет координаты $\left(X_0 + \frac{X_{N-1}-X_0}{2}, Y_0 + k \cdot \left(X_0 + \frac{X_{N-1}-X_0}{2}\right)\right)$. Тогда декартовы координаты промежуточных точек (X_i, Y_i) для всех $i = \overline{1, N-2}$ определяются как

$$X_i = X_0 + M_i \cdot \frac{X_{N-1}-X_0}{M_{N-1}-M_0}, \quad (3.6)$$

$$Y_i = Y_0 + \begin{cases} M_i \cdot \frac{\sqrt{(M_{N-1}-M_0)^2 - (X_{N-1}-X_0)^2}}{M_{N-1}-M_0}, & X_i \leq X_S \\ 2 \cdot Y_S - M_i \cdot \frac{\sqrt{(M_{N-1}-M_0)^2 - (X_{N-1}-X_0)^2}}{M_{N-1}-M_0}, & X_i > X_S \end{cases}. \quad (3.7)$$

3.3.4 Оценка точности определения положения промежуточной точки трубопровода

Очевидно, что при описанном в предыдущем пункте подходе модуль максимальной ошибки при вычислении координат промежуточной точки (X_i, Y_i) не превысит величину $|Y_s - Y_0|$ и составит

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\mu^2 - \lambda^2}, \quad (3.8)$$

где $\mu = M_{N-1} - M_0$ – длина участка в линейных координатах;

$\lambda = \sqrt{(X_{N-1} - X_0)^2 + (Y_{N-1} - Y_0)^2}$ – расстояние между опорными калибровочными точками.

С учетом того, что вычисления координат проводились с точностью до положения промежуточных точек относительно прямой, соединяющей начальную и конечную калибровочные точки, максимальная ошибка

$$\Delta = 2\delta = \sqrt{\mu^2 - \lambda^2}. \quad (3.9)$$

Пусть K – количество калибровочных точек на участке трубопровода. Изначально $K = 2$. При росте K , то есть появлении дополнительных калибровочных точек между точками (X_0, Y_0) и (X_{N-1}, Y_{N-1}) , обе величины, μ и λ , стремятся к 0, следовательно, их разность также стремится к нулю, а $\lim_{K \rightarrow \infty} \Delta = \lim_{K \rightarrow \infty} \sqrt{(\mu - \lambda)(\mu + \lambda)} = 0$.

3.3.5 Уточнение линейных координат промежуточных точек трубопровода при появлении дополнительных калибровочных точек

Пусть нам известны координаты (X_k, Y_k) промежуточной точки M_k , $1 \leq k < N - 1$. Для этой точки в соответствии с формулами, приведенными в п. 1, может быть посчитана ее новая координата M'_k .

Тогда для точек M_i , $1 \leq i < k$, лежащих левее точки k , уточненные линейные координаты определяются по формуле

$$M'_i = M_i \cdot \frac{M'_k}{M_k}, \quad (3.10)$$

а для точек M_i , $k < i < N - 1$, лежащих правее точки k , уточнение линейных координат выполняется по формуле

$$M'_i = M_i + (M'_k - M_k). \quad (3.11)$$

К уточненным линейным координатам $M'_i, i = \overline{0, N - 1}$, может быть применен алгоритм, описанный в 3.3.3. При этом он применяется дважды: на участке от M_0 до M_k и от M_k до M_{N-1} . Этот процесс повторяется при появлении каждой дополнительной калибровочной точки на рассматриваемом участке трубопровода.

3.3.6 Технологическая схема создания и обновления картографической информации в коридорах трассы трубопровода по аэрокосмическим изображениям

В рамках диссертационного исследования была разработана технологическая схема создания и обновления картографических данных в коридорах трассы трубопровода по космическим снимкам высокого и сверхвысокого разрешения, аэро-снимкам видимого диапазона (рисунок 3.12).

Особенностью технологии является использование дополнительных материалов, таких как профили, технологические схемы, ситуационные планы МТ и данные в линейной системе координат. Эти материалы необходимы для уверенного дешифрирования объектов трубопроводного транспорта на аэрокосмических изображениях и получения атрибутивных данных, необходимых для оформления карты или формирования набора геопространственных данных.

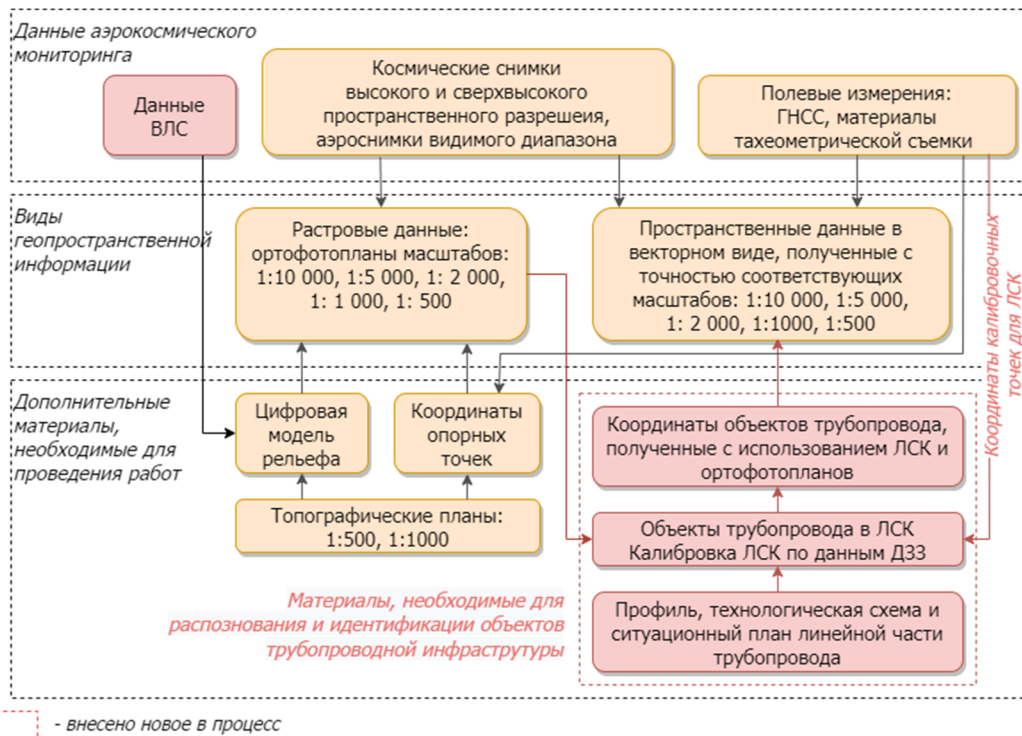


Рисунок 3.12 – Технологическая схема создания и обновления картографической информации по космическим снимкам высокого и сверхвысокого разрешения, аэроснимкам видимого диапазона

Исследования показали, что в процессе работ по картографированию может потребоваться дополнительная информация, такая как координаты объектов на трубопроводе, необходимые для калибровки линейной системы координат. Такими калибровочными точками могут выступать: задвижки, вантузы, камеры пуска и приема средств очистки и диагностики и т. д.

Выбранный объект, который принимается за калибровочную точку, должен иметь линейную координату. Наличие у него и геодезических координат позволяет точнее определить положение трассы, объектов на ней, характеристик участков, дефектов отдельных секций в едином координатном пространстве и связать дефекты (при их наличии) с протекающими природными и техногенными процессами, выявленными по материалам аэрокосмического мониторинга.

В процессе анализа научной литературы и практических работ было определено, что для получения информации о рельефе территории, создания ЦМР целесообразно применять данные ВЛС или при их отсутствии глобальные данные о ре-

льефе (SRTM, ALOS DEM, ASTER GDEM и др.) для средних и мелких масштабов карт [19, 98, 108, 180, 222, 232, 233, 237, 238, 242, 243, 248, 249, 255, 256, 261, 268].

3.4 Теоретическое обоснование выполнения технологических операций дешифрирования опасных геологических процессов на основе использования геопространственных моделей

Результаты проведения экспериментальных исследований и материалы научной литературы подтверждают, что в решении задач выявления ОГП хорошо зарекомендовали себя современные технологии ВЛС и ЦАФС, а также геоинформационное ПО для проведения дешифрирования ОГП и получения их качественных и количественных характеристик с целью определения категории опасности [12–15].

В процессе исследований было выявлено, что трубопроводная система оказывает существенное влияние на протекание природных процессов в коридоре трассы, поэтому они могут активизироваться и стать причиной аварийных ситуаций. Источниками негативного воздействия на МТ являются экзогенные и эндогенные геологические, а также атмосферные процессы, в зоне воздействия, которых он находится (рисунок 3.13).



Рисунок 3.13 – Природные источники возникновения дефектов и аварийных ситуаций на магистральных нефтепроводах

Установлено, что основными природными источниками возникновения дефектов и аварийных ситуаций на магистральных нефтепроводах являются экзогенные геологические процессы, получившие активность за счет атмосферных агентов или воздействия проявления эндогенных процессов или их совокупности, в зоне воздействия, которых находится нефтепровод. Опасные геологические процессы, в основном, достаточно хорошо изучены и освещены в научной литературе [32, 67, 70, 106, 107, 118, 126, 132, 148, 164, 165, 169, 218, 239, 240, 246, 259].

Анализ показал, что при картографировании крупных проявлений ОГП в мелких масштабах (1 : 5 000 и 1 : 10 000) допустимо использовать ортофотопланы, полученные по результатам аэросъемки или космические снимки сверхвысокого пространственного разрешения (0,5 м). Для выявления новых геологических процессов, оценки их влияния на трубопроводные системы и мониторинга протекания процессов целесообразно использовать методы ВЛС и цифровой аэросъемки [10, 13, 61, 62, 220, 265].

В процессе изучения специальной технической литературы определено, что, при выполнении работ по геотехническому мониторингу выявляют экзогенные процессы, оказывающие влияние на объекты трубопровода:

- оползневые, образующиеся на наклонных поверхностях крутизной от 10° и более;
- карстовые, образующиеся в зонах распространения грунтов карбонатного, гипсового, соляного, сульфатного состава;
- осыпные, которые происходят на заросших растительностью наклонных поверхностях крутизной от 20 до 50° ;
- обвалы, происходящие на не заросших растительностью наклонных поверхностях крутизной более 50° ;
- суффозионные, которые возникают в зонах избыточного насыщения грунтовыми водами лессовых, глинистых, песчаных, карбонатных растворимых грунтов;
- осадки грунта, происходящие в зонах разрыхления при проведении земляных работ;

- солифлюкция, которая происходит на наклонных поверхностях в зонах распространения рыхлых ММГ (глин, суглинков);
- подтопления в местах, обусловленных подъемом уровня грунтовых вод при перекрытии, а также затруднении подземного или поверхностного стока;
- эрозионные, характерные для зон распространения рыхлых грунтов и мест переходов через постоянные водотоки на наклонных поверхностях крутизной от 3°;
- формирования курумов, распространенных в зонах распространения скальных и крупнообломочных грунтов на наклонных незадернованных поверхностях в условиях воздействия больших перепадов дневных и ночных температур, а также неравномерного нагревания и охлаждения;
- пучинообразования, свойственных зонам промерзания влажных грунтов и мигрирующей воды с образованием кристаллов и линз льда;
- наледеобразования в руслах водотоков, по бортам речных долин в зонах распространения ММГ;
- термокарста в зонах распространения залежей льда и сильнольдистых грунтов в верхней части многолетнемерзлой толщи;
- селевые, которые происходят при выносе грязекаменного материала водными потоками при сильных паводках [26].

Для крупных масштабов (М 1 : 2 000 и крупнее) наиболее эффективным будет проведение ВЛС территории со сложными природными условиями для получения трехмерной цифровой модели местности и последующего дешифрирования ОГП. Для более уверенного дешифрирования работы по ВЛС могут быть дополнены цифровой АФС [61].

Для масштаба 1 : 500 фотоснимки должно иметь разрешение от 5–7 см на местности; плотность точек лазерного отражения – от 5–9 точек на м². Ширина полосы съемки и камеральной обработки материалов ВЛС должна составлять не менее 150 м (не менее 75 м вправо и влево от оси трубопровода). Допускаются средние погрешности положения объектов дешифрирования 0,75 мм в масштабе плана или 40 см. На участках линейной части трубопровода на участках с распростране-

нием многолетних мерзлых грунтов (ММГ) и экзогенных геологических процессов (ЭГП) работы рекомендуется проводить 1 раз в год.

Мониторинг в масштабе 1 : 1 000 с использованием ВЛС совместно с цифровой АФС в коридоре трассы магистрального нефтепровода в зоне сложных природно-климатических условий обеспечивается при получении фотоснимков с разрешением на местности от 7–10 см, плотности точек лазерного отражения – от 3–5 точек на м².

Для масштаба 1 : 2 000 допускается использование фотопланов с разрешением на местности от 10–15 см, плотность точек лазерного отражения – от 2–3 точек на м². Средние погрешности положения объектов дешифрирования должны быть не более 0,75 мм в масштабе плана, что составляет 75 см для М 1 : 1 000 и 1,5 м для М 1 : 2 000 на местности. Съёмочные работы рекомендуется проводить 1–2 раза в год.

Картографирование и мониторинг в масштабах 1 : 5 000 и 1 : 10 000 крупных проявлений ОГП в коридоре трассы магистрального нефтепровода на участках со сложными природными условиями можно осуществлять по космическим изображениям с пространственным разрешением 50 см на пиксель или материалов ЦАФС с разрешением снимков не менее 20 см на пиксель. Предельные погрешности определения положения точечного объекта при аэрофотосъёмке в масштабах 1 : 5 000 и 1 : 10 000 составляют 0,4 мм на плане/карте, что соответствует 2 и 4 м на местности соответственно.

Полученные материалы должны иметь средние погрешности положения точек 0,75 мм в масштабе создаваемого плана/карты, что составляет 3,75 м для М 1 : 5 000 и 7,5 м для М 1 : 10 000. Работы по мониторингу и картографированию ОГП рекомендуется проводить с периодичностью 1–2 раза в год с использованием местных геодезических сетей для увязки и анализа данных мониторинга за разные периоды.

Технология дешифрирования опасных природных процессов на основе использования геопространственных моделей

Анализ последних исследовательских работ показал, что для выявления и мониторинга ОГП целесообразно использовать современные технологии ВЛС

и ЦАФС, а также возможности геопрограмного моделирования при выявлении ОГП и получении их количественных характеристик с целью определения категории опасности [9, 10, 13]. Эти исследования легли в основу технологии дешифрирования опасных геологических процессов в коридоре трассы трубопроводов с использованием геопрограмных моделей, получаемых по данным ВЛС и цифровой аэросъемки.

Дешифрирование ОГП производится по следующей технологической схеме (рисунок 3.14).

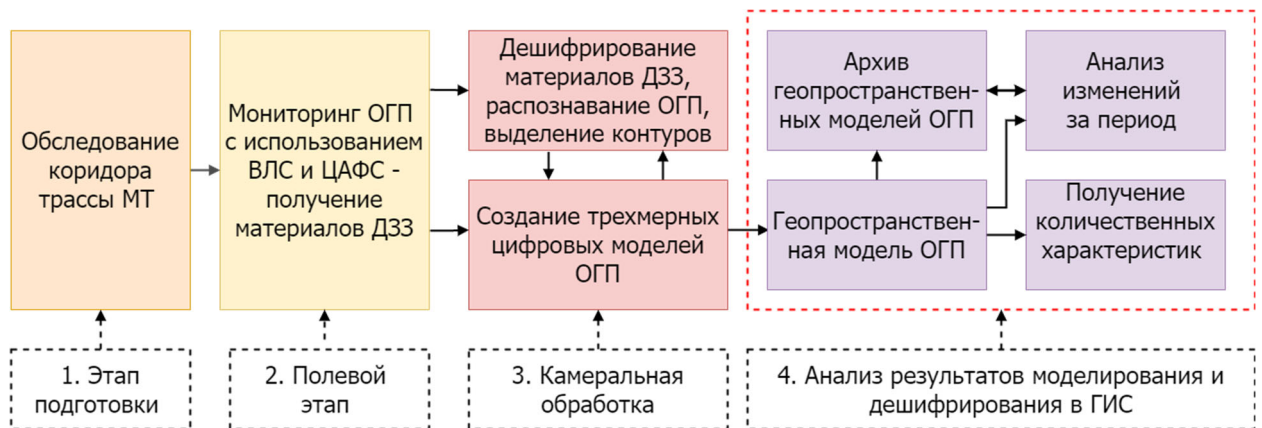


Рисунок 3.14 – Получение количественных характеристик динамики ОГП с использованием трехмерных цифровых моделей по данным ВЛС и ЦАФС

На первом этапе производятся сбор и обобщение всех доступных материалов по геологии, геоморфологии, тектонике, инженерной геологии, гидрогеологии, климату и растительности района предполагаемых работ.

На втором этапе проводят работы по аэромониторингу территории. В зависимости от масштаба исследований определяются требования к данным дистанционного зондирования: пространственному разрешению цифровых аэроснимков и к плотности данных лазерного сканирования. Дешифровочные признаки проявлений ОГП, а также требования к цифровым аэроснимкам и данным ВЛС приведены в таблице 3.5. Практические полевые работы подтверждают эффективность исследуемых методов [14].

Таблица 3.5 – Разработанный классификатор геологических процессов, представляющих угрозу для безопасного функционирования системы трубопроводного транспорта и учитывающий требования к данным ЦАФС и ВЛС

Геологические процессы	Объекты дешифрирования
Для масштаба 1 : 500: разрешение изображений от 5 до 7 см; плотность точек ВЛС от 5 до 9 на м ² . Для масштаба характерна высокая детализация съемки, четко фиксируются границы ОГП и их проявления в рельефе	
Оползни	Бровки срыва, цирк оползня, язык оползня, рвы оседания, ступенчато-глибовая поверхность, валы выпирания и наплывы, откосы обрушения и размыва, бугры, западины. Оконтуривание всего тела оползня и т. д.
Обвалы и осыпи	Поверхности отделения обвалившейся массы, размеры и формы, уклоны и т. д.
Сели	Формы водосборного бассейна и русла, селевой бассейн
Карст	Карры, западины, воронки, карстовые блюдца, увалы и т. д.
Карстово-суффозионные процессы	Воронки, крупные блюдца, западины
Абразия берегов озер, морей, водохранилищ	Пляжи, перешейки между озерами, косы, стрелки, абразионные обрывы
Суффозия	Просадочные явления – блюдца, воронки, западины
Термокарст	Провальные, просадочные явления и явления, связанные с мерзлотой. Процесс оттаивания подземного льда, сопровождается проседанием поверхности и образованием отрицательных форм рельефа
Морозное пучение	Коренные пучины (высота достигает 30–40 см), рельеф, обеспечивающий наилучший водоотвод, уменьшает возможность возникновения пучин. Верховные пучины до 5–10 см при неблагоприятных условиях не выделяются
Для масштаба 1 : 1000: разрешение изображений от 7 до 10 см; плотность точек ВЛС от 3 до 5 на м ²	
Для масштаба 1 : 2000: разрешение изображений от 10 до 15 см, плотность точек ВЛС 2–3 на м ²	
Оползни	Бровки срыва, цирк оползня, язык оползня. Оконтуривание всего тела оползня
Обвалы и осыпи	Стенки срыва обвалившейся массы, размеры и формы, уклоны, области транзита. оконтуривание осыпи и обвала
Сели	Формы водосборного бассейна и русла, селевой бассейн
Карстово-суффозионные процессы	Воронки, карстовые блюдца, западины
Абразия берегов	Пляжи, береговые бары, перешейки между озерами, косы, обрывы
Суффозия	Просадочные явления – крупные блюдца, воронки, западины
Термокарст	Провальные, просадочные явления, натечные образования (гейзериты и травертины) и явления, связанные с мерзлотой (воронки, провалы и др.)
Для масштаба 1 : 5 000: разрешение изображений от 15 до 20 см; плотность точек ВЛС класса «земля» от 0,5 до 1 на м ² . Для масштаба характерна низкая детализация	
Крупные проявления ОГП	Выделение границ крупных тел оползней, крупных осыпей, селевых бассейнов, курумов, проявление термокарста, имеющее большую площадь и т. д.

На третьем этапе происходит обработка результатов мониторинга, включая создание ЦМР по данным ВЛС и АФС, выделение контуров ОГП, распознавание ОГП по дешифровочным признакам и библиотеке эталонных моделей. Алгоритм распознавания того или иного установленного ОГП, указанный в общих чертах выше, сводится к выявлению опасного природного процесса, определению его «вида» по набору дешифровочных признаков, сравнению процесса с типовой моделью из каталога по расположению идентификационных примитивов на ЦМР и эталонной модели (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Эталонные модели ОГП (фрагмент)

Тип процесса	Эталонная модель	Описание геологического процесса
Оползень		<p>Оползень представляет собой отрыв горных пород от склона и перемещение их под действием силы тяжести и дополнительных нагрузок вниз по склону. Создает угрозу жизни и разрушений инженерных коммуникаций и объектов инфраструктуры магистральных трубопроводов</p> <p>1 – бровка срыва оползня; 2 – тело оползня</p>
Провал		<p>Опускание земной поверхности с разрывом сплошности пород, наблюдающееся на месте подземных выработок полезных ископаемых с неглубоким залеганием продуктивных пластов. Карстовые пещеры, пористые известняки, скальные образования и др. могут быть особенно восприимчивыми к разрушению и образованию провалов земли. Эти зоны могут быть подвержены различным воздействиям в процессе эксплуатации технических систем, что может привести к образованию ям и провалов земли</p>
Термокарст		<p>Термокарст – это процесс просадки земной поверхности, образующейся при протаивании льдистых мерзлых пород и вытаивании подземного льда; это и процесс неравномерного проседания почв и подстилающих горных пород вследствие вытаивания подземного льда.</p> <p>Причиной возникновения термокарста в коридоре трассы трубопровода служит такое изменение теплообмена, при котором глубина сезонного оттаивания начинает превышать глубину залегания подземного льда или многолетнемерзлых пород</p>

На четвертом этапе в геоинформационном обеспечении определяют количественные характеристики ОГП, в том числе размеры, наклон, площадь распространения опасных геологических процессов по геопространственным моделям. По полученным характеристикам производят классификацию опасных геологических процессов по виду, оценку степени опасности для проектируемого или эксплуатируемого сооружения, для чего используют единое геоинформационное пространство, позволяющее на одной сцене увидеть и провести анализ текущего состояния объектов трубопроводного транспорта протекающих природных процессов.

Применение технологий ВЛС и геопространственного моделирования подтверждает свою эффективность как в выявлении ОГП, так и при их мониторинге. Применение ВЛС повышает оперативность мониторинга существующих ОГП, а геопространственное моделирование – надежность выявления новых ОГП, связанных с техногенной нагрузкой МТ на природную среду. Получение качественных и количественных характеристик ОГП, оценку изменений, рекомендуется осуществлять с использованием специализированного ПО, позволяющего организовать единое геоинформационное пространство, поддерживающего работу с трехмерными пространственными данными, облаками точек и трехмерными цифровыми моделями.

3.5 Разработка технологии аэрокосмического мониторинга паводковой ситуации в коридоре трасс трубопроводных систем

В силу своей географической протяженности трубопроводные системы пересекают большое количество больших и малых рек и в период паводка требуются дополнительные меры по защите площадочных объектов (нефтеперекачивающих станций, узлов связи, баз производственного обслуживания) и линейной части нефтепроводов [189, 195]. Для примера, трасса нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» проходит через бассейны рек Ангары, Лены, оз. Байкал и Амура, трасса трубопровода пересекает 1 007 водных преград [69].

В период паводка ведется круглосуточный мониторинг уровня воды в реках, производится фотосъемка русел, гидрологический анализ состояния водотоков. Обследуются участки, подверженные размыву паводковыми водами: опоры вдоль-трассовых ЛЭП, кабельные линии электроснабжения, линии и сооружения связи. На наиболее сложных участках организуются наблюдательные посты и пункты наблюдения. В режим повышенной готовности приводятся все производственные площадки, где размещена аварийная техника и базируется персонал специализированных подразделений по предупреждению ликвидации нештатных ситуаций. Особое внимание уделяется местам пересечения нефтепроводов с водными преградами.

Мониторинг паводковой обстановки – важный компонент комплексного мониторинга трубопроводных систем, поэтому ему уделяют особое внимание. Многозональная космическая съемка – один из инструментов комплексного мониторинга природно-технической среды трубопроводного транспорта. Основой измерений являются спектральные характеристики отражения различных типов поверхности.

Математические методы обработки данных многозональной съемки позволяют анализировать состояние растительности, определить зоны подтопления, выявлять пожары в зонах прохождения трубопроводных систем. Наличие математических алгоритмов дает возможность автоматизировать процесс обработки космических изображений, что является важным для протяженных трасс МТ.

Поиск водных объектов на основе набора измеренных многоспектральных изображений позволяет обнаруживать их по характеристикам отражательной способности природных объектов [231, 245, 252] (рисунок 3.15). Водные объекты характеризуются самыми низкими значениями коэффициентов отражения среди других природных объектов. При этом все другие природные объекты даже в состоянии увлаженности имеют больший коэффициент отражения. Этот факт используется при обнаружении водных объектов на многозональных космических изображениях.

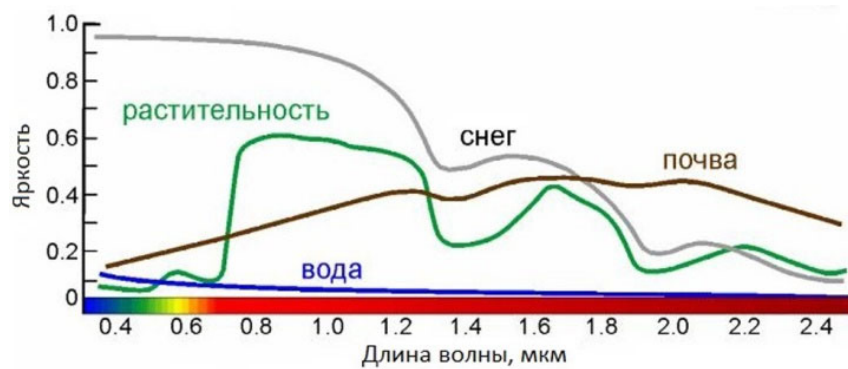


Рисунок 3.15 – Спектральные классы природных объектов по Кринову Е. Л. [102]

Изучение вопросов, связанных с механизмами формирования наводнений, их мониторингу, прогнозированию, снижению сопровождающего их ущерба представляет собой значимое направление не только в гидрологии и смежных с нею дисциплинах, но целом ряде других фундаментальных и прикладных наук, включая современный инструментальный методов геоинформационных технологий, а также средств дистанционного зондирования Земли [127, 131, 235, 241, 244, 257, 270].

Вопросам использования данных многозональной космической съемки для изучения водных объектов посвящено много трудов российских и зарубежных ученых [223, 227, 251, 264, 269]. Большую работу по оценке возможностей использования данных прибора MODIS для задач мониторинга паводковой обстановки в России проведена ФГБУ «НИЦ Планета» [209].

Суть метода обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям заключается в создании многоспектральных индексных изображений для определения (автоматизированного дешифрирования) водных объектов. Для такой задачи исследователи используют следующие водные индексы: NDWI, MNDWI, AWEI (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Индексы, используемые для определения водных объектов

Название индекса	Сокращенное название	Год разработки
Normalized Difference Water Index	NDWI	1996
Modified Normalized Difference Water Index	MNDWI	2006
Automated Water Extraction Index	AWEI_nsh	2014
	AWEI_sh	2014

Нормализованный разностный водный индекс (NDWI) был первым предложенным спектральным индексом для выделения водных объектов [251]. Индекс был разработан в 1996 г. для картографирования и выделения объектов открытой воды по данным дистанционного зондирования Земли и имеет следующее выражение:

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}. \quad (3.12)$$

Модифицированный нормализованный разностный водный индекс (MNDWI). Алгоритм позволяет эффективно подавлять и даже удалять шумовые эффекты, вызванные застроенной территорией, с поверхности, с почвы и растительности. Индекс был разработан путем модификации NDWI в 2006 г. [269]. Исследователи пришли к выводу, что для застроенных территорий будет более эффективно использовать вместо интенсивности отраженного света в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR) интенсивность отраженного света в среднем инфракрасном (MIR):

$$MNDWI = \frac{(Green - MIR)}{(Green + MIR)}. \quad (3.13)$$

Автоматизированный индекс выделения воды (AWEI) был предложен в 2014 г. для повышения точности классификации водных объектов в районах с затененными и темными поверхностями [227]. Разработано два выражения индекса: для изображений с наличием затененных территорий (AWEI_sh) и без них (AWEI_nsh):

$$AWEI_sh = Blue + 2.5 \times Green - 1.5 \times (NIR + SWIR1) - 0.25 \times SWIR2, \quad (3.14)$$

$$AWEI_nsh = 4 \times (Green - SWIR1) - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR2). \quad (3.15)$$

Космический мониторинг позволяет оперативно отслеживать активно протекающие опасные природные процессы в коридоре трассы МТ, такие как подводки. Но мониторинг, согласно отраслевой нормативной документации, должен включать также работы по периодическому обследованию подводных переходов [139], в том числе работы по определению технического состояния береговых участков и определению планово-высотного положения трубопровода. С учетом развития средств беспилотной съемки и методов ЦАФС и воздушного лазерного сканирования целесообразно обновить нормативную документацию в части использования средств мониторинга при периодическом обследовании подводных переходов МТ (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Виды, контролируемые параметры и методы выполнения работ при периодическом обследовании подводных переходов

Вид работ	Контролируемые параметры	Методы мониторинга
<p>Определение технического состояния береговых участков</p>	<p>1 Размеры обнаруженных на береговых участках: оврагов, обрушений (обвалов) грунта вдоль берега, оползней, промоин, провалов и пучения грунта 2 Заращение трассы МТ, наличие кустарника и древесной растительности по оси нефтепровода 3 Оценка состояния берегоукрепления. В зависимости от типа берегоукрепления контролируют: состояние откосов, их крутизну, толщину наброски, зазоры между отдельными плитами, прочность дернины. 4 Оценка состояния информационных и геодезических знаков, маркерных пунктов. Проверяется: сохранность окраски, надписей, сохранность геодезического центра, геодезической пирамиды</p>	<p>Рекомендуются методы ЦАФС и фотограмметрии /или ВЛС с построением геопространственной модели участка коридора трассы для анализа, измерения, фиксации размеров размытых участков берегов, оврагов, обвалов и провалов грунта, оползней, промоин, оголений трубопровода для последующего их нанесения на топографический план. Исследуется коридор трассы шириной не менее 3 м от оси с каждой стороны МТ. Трасса МТ должна быть очищена от деревьев, кустарника и поросли. Полоса земли шириной не менее 3 м от оси с каждой стороны нефтепровода, вдольтрассовых линий электропередачи и связи должна быть очищена от деревьев, кустарника и поросли</p>

Окончание таблицы 3.8

Вид работ	Контролируемые параметры	Методы мониторинга
Определение планово-высотного положения трубопровода	Координаты трубопровода и обнаруженных при осмотре береговых участков, овраги, обрушения (обвалы) грунта вдоль берега, оползни, промоины, провалы и пучения грунта	Топографическая съемка участка берега выполняется в масштабах 1 : 500–1 : 5 000 геодезическими приборами с точностью до 17 см по высоте для определения технического состояния береговых участков. В качестве методов съемки могут использоваться ЦАФС и ВЛС, дополненные инструментальной съемкой при необходимости. На топоплан должны быть нанесены, в том числе: трубопровод, выявленные на береговых участках овраги, обвалы грунта вдоль берега, оползни, промоины, провалы

Выводы по третьему разделу

На основе методологических принципов и теоретических основ исследования объектов трубопроводного транспорта разработаны и теоретически обоснованы методы и технологии:

– мониторинга объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, ВЛС и методов геопространственного моделирования (*реализован на основе принципов динамичности, системности, комплексности, единства измерений и модернизации*);

– геопространственного моделирования объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования Земли на основе их классификации (*принцип унификации*);

– дешифрирования на аэрокосмических изображениях объектов магистральных трубопроводов с использованием СЛК (*принцип идентификации*);

– дешифрирования ОГП на основе использования геопространственных моделей, позволяющая его получить количественные характеристики динамики протекающих процессов (*принципы идентификации и интерпретируемости*);

– аэрокосмического мониторинга паводковой ситуации в коридоре трасс трубопроводных систем, позволяющего прогнозировать его развитие на основе ЦМР (*принципы идентификации и интерпретируемости*).

В процессе исследований разработана технология мониторинга объектов трубопроводного транспорта, в основе которой лежит формирование единого координатного пространства трубопроводного транспорта и геопространственное моделирование объектов природно-технической системы по данным дистанционного зондирования Земли. Теоретические основы заложены в методологии аэрокосмических исследований магистральных трубопроводов с использованием трехмерных цифровых моделей, которая определяет необходимость создания и использования трехмерных цифровых моделей для решения производственных задач в процессе мониторинга трасс.

В рамках настоящего исследования разработаны: технология дешифрирования на аэрокосмических изображениях объектов магистральных трубопроводов с использованием системы линейных координат, методы работы с данными, представленными в линейных координатах.

В процессе исследований была теоретически обоснована необходимость применения технологии дешифрирования ОГП с использованием геопространственных моделей, построенных по данным лазерного сканирования и ЦАФС. Установлено, что источниками негативного воздействия на МТ являются экзогенные и эндогенные геологические, а также атмосферные процессы, в зоне воздействия, которых он находится. Для выявления и мониторинга ОГП целесообразно использовать современные технологии ВЛС и аэрофотосъемки, а также возможности ГИС для проведения дешифрирования ОГП и получения их количественных характеристик с целью определения категории опасности.

Технология основана на проведении ВЛС и ЦАФС, обработке результатов мониторинга, включая создание ЦМР, выделение контуров ОГП, распознавание ОГП по дешифровочным признакам и формируемой библиотеке эталонных моде-

лей. Технология реализована на принципах идентификации процесса и интерпретации степени его опасности для трубопровода.

В работе теоретически обосновано применение *методов аэрокосмического мониторинга паводковой ситуации в коридоре трасс трубопроводных систем* с использованием многозональных космических изображений, а также цифровых моделей рельефа для прогноза развития паводка. Технология мониторинга паводковой ситуации основана на построении индексных изображений и автоматизации дешифрирования с подбором пороговых значений для объектов класса «вода» с целью определения зоны затопления. Для прогноза развития паводка, определения водосборных бассейнов, моделирования речного стока требуется построить ЦМР. На участках подводного перехода МТ через водные преграды требуется ЦМР с точностью до 17 см по высоте для определения технического состояния береговых участков.

Дальнейшие исследования в области геопро пространственного моделирования объектов трубопроводного транспорта могут быть направлены на автоматизацию построения геопро пространственных моделей, усовершенствование методов классификации облаков точек лазерного отражения, развитие методов автоматизированного распознавания опасных природных процессов [234, 247].

4 АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

4.1 Апробация технологий мониторинга объектов линейной части МТ с использованием ЦАФС, ВЛС и технологии дешифрирования с использованием системы линейных координат

Апробация разработанных технологий мониторинга объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, ВЛС и дешифрирования на аэрокосмических изображениях объектов магистральных трубопроводов с использованием СЛК была проведена в процессе геотехнического мониторинга линейной части МТ «Восточная Сибирь – Тихий океан».

4.1.1 Мониторинг объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, ВЛС и методов внутритрубной диагностики

Активные изменения обстановки, которые складываются при развитии неблагоприятных природных процессов в зоне прохождения трубопроводов, требуют проведения оперативного анализа ситуаций. Отслеживание изменений рельефа проводят средствами ВЛС с периодичностью не менее 1 раза в 3 года, на участках ЛЧ МТ с ММГ и ЭГП – 1 раз в год. Ширина полосы съемки и камеральной обработки материалов ВЛС – не менее 150 м (не менее 75 м вправо и влево от оси трубопровода). Контроль высотного положения подземной части МТ производят посредством измерения высотных отметок с использованием специальных устройств определения высоты. Рекомендуемое количество точек лазерных отражений для получения более точного сканирования составляет не менее девяти на квадратный метр. В местах со сложными природно-климатическими условиями проводят внутритрубную диагностику. Сравнение данных ВТД и результатов ВЛС позволяет оценить степень влияния протекающих экзогенных геологических процессов на развитие ненормативных радиусов изгиба секций МТ (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Реализация технологии аэрокосмического мониторинга при анализе ЦМР и данных ВТД на участке МТ

Производственные задачи, решаемые подразделениями, осуществляющими геотехнический мониторинг, предъявляют дополнительные требования к пространственной информации, составу и актуальности данных для каждого участка трубопровода, которые различаются в зависимости от условий прохождения трассы. Особое место в составе систем, обеспечивающих безопасную эксплуатацию трубопроводов, занимают технологии ДЗЗ, которые позволяют отслеживать динамику развития негативных процессов и способы определения планово-высотного положения трубопровода, необходимые для бесперебойной работы трубопроводного транспорта.

Отслеживание изменений рельефа проводят средствами ВЛС с периодичностью не менее 1 раза в 3 года, на участках ЛЧ МТ с ММГ и ЭГП – 1 раз в год (рисунок 4.2). Ширина полосы съемки и камеральной обработки материалов ВЛС – не менее 150 м (не менее 75 м вправо и влево от оси трубопровода).

Контроль высотного положения подземной части МТ производят посредством измерения высотных отметок с использованием специальных устройств определения высоты. Рекомендуемое количество точек лазерных отражений для получения более точного сканирования составляет не менее девяти на квадратный метр.

Построение цифровой модели рельефа и сравнения ЦМР за разные периоды наблюдения позволяет судить о скорости протекания опасных геологических процессов и оценить степень их влияния на магистральный трубопровод.

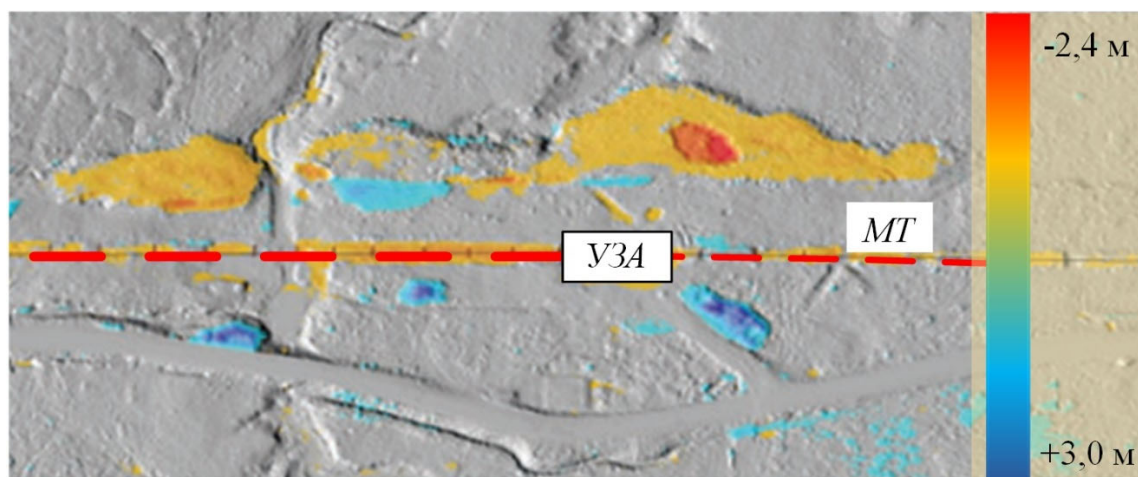


Рисунок 4.2 – Карта изменения высоты поверхности, полученная по итогам сравнения ЦМР по данным ВЛС в 2018 и 2019 гг.

Для сбора, хранения и геопространственного анализа разнородной информации, собираемой в процессе геотехнического мониторинга, было сформировано единое геоинформационное пространство.

В качестве исходных данных использовались: материалы архивной космической съемки высокого и среднего разрешения, материалы инженерных изысканий (геологических и геодезических), данные ЦАФС, ВЛС и ВТД. Для описания элементов МТ используется векторная информация в виде набора данных, включая ось трубопровода, запорное оборудование, дороги и вдольтрассовые проезды, здания и строения на НПС.

В процессе мониторинга МТ средствами ВЛС линейной части МТ была построена цифровая модель рельефа со средней плотностью 20 точек лазерного отражения на 1 м^2 . Анализ результатов ВЛС в 2018 г. позволил выявить и нанести на карту более 5 500 проявлений ЭГП.

Основными задачами в процессе геотехнического мониторинга трубопровода средствами ВЛС являются:

- построение ЦМР;
- анализ изменений в ЦМР;
- выявление новых проявлений ЭГП;

– оценка динамики ЭГП между циклами обследований, получение количественных характеристик: изменение площади, глубины или высоты.

Основными задачами в процессе аэромониторинга МТ являются:

- дешифрирование проявлений ОГП;
- идентификация ОГП и их классификация по степени опасности;
- оценка динамики развития ОГП, получение количественных характеристик.

Для повышения точности измерений средствами ВЛС и ЦАФС, в соответствии с принципом единства измерений, необходимо обеспечить использования единого геодезического обоснования при выполнении разных циклов ВЛС, в том числе путем развития местной автоматизированной геодезической сети с постоянно действующими станциями. Это позволит уменьшить погрешность определения высоты рельефа с 17 см до 5–10 см.

4.1.2 Апробация технологии дешифрирования на аэрокосмических изображениях объектов магистральных трубопроводов с использованием системы линейных координат

В процессе экспериментальных работ был проведен анализ результатов съемки действующего магистрального трубопровода с использованием пилотируемых летательных аппаратов с малой высоты и участка строительства компрессорной станции с использованием БПЛА мультироторного типа DJI Phantom 4 Pro v2.0.

Материалы обработки данных аэросъемки дополнили анализ использования космических изображения для задач картографирования объектов трубопроводного транспорта и наглядно продемонстрировали различия информационных свойств спутниковых изображений и изображений, получаемых с малых высот в процессе аэромониторинга объектов добычи, транспорта и хранения газа, нефти и нефтепродуктов.

Результаты практических исследований показали, что для проведения крупномасштабных съемок при геотехническом мониторинге трубопроводных систем целесообразно использовать БПЛА.

Кроме этого, они могут применяться и тогда, когда получение космической информации и информации с пилотируемых летательных аппаратов по ряду причин невозможно или экономически нецелесообразно. Аэросъемка с малых высот дает возможность получать информацию с большей детальностью и меньше подвержена влиянию атмосферы. Хорошая маневренность позволяет производить съемку по сложным маршрутам, вдоль трасс трубопроводных систем, небольших объектов строительства, а современные программные средства обеспечивают возможность оперативно обрабатывать информацию.

В результате работ по дешифрированию был получен перечень объектов, распознаваемых на аэроизображениях в сравнении с перечнем объектов, распознаваемых на космических изображениях с пространственным разрешением 0,5 и 1,5 м (таблица 4.1).

Аэроснимки (с разрешением выше 0,1 м/пикс) существенно более информативные, чем космические изображения, и позволяют дешифрировать состав объектов в соответствии с требованиями к составу топографических планов масштаба 1 : 500. В случае, если информативность полученных схем является недостаточной, не удастся нанести некоторые объекты и/или получить их характеристики, то такие данные могут быть получены в процессе полевого обследования и/или выборочной инструментальной топографической съемки.

Для иллюстрации приведем несколько схем дешифрирования, полученных в процессе работы по визуальному дешифрированию космических изображений (рисунки 4.3–4.6).

На практике использование снимков с пространственным разрешением 0,5 м/пикс для калибровки линейных систем координат гарантированно улучшает точность линейных координат, обеспечивая для всей протяженности магистральных трубопроводов точность, соответствующую топографическим картам масштаба 1 : 25 000, т. е. до 10–15 м.

Таблица 4.1 – Перечень объектов, распознаваемых на аэрокосмических изображениях с пространственным разрешением от 1,5 м/пикс и крупнее [27]

Разрешение ДДЗ			Разрешение	Класс ПД	Тип геометрии
1,5 м/пикс	0,5 м/пикс	0,1 м/пикс			
Данные разрешением 1,5 м/пикс и крупнее пригодны для дешифрирования перечисленных объектов	Данные разрешением 0,5 м/пикс и крупнее пригодны для дешифрирования перечисленных объектов	Данные разрешением 0,1 м/пикс и крупнее пригодны для дешифрирования перечисленных объектов	< 1,5 м/пикс	Площадки (НПС, ЛПДС, УЗА, КПП СОД и др.)	точечная
			< 1,5 м/пикс	Площадки (схематический контур)	площадная
			< 1,5 м/пикс	Башенные и мачтовые сооружения	площадная
			< 1,5 м/пикс	Столбы фермовые	точечная
			< 1,5 м/пикс	Валы защитные и противэрозионные	линейная
			< 1,5 м/пикс	Здания	площадная
			< 1,5 м/пикс	Мосты	площадная
			< 1,5 м/пикс	Оси дорог и улиц	линейная
			< 1,5 м/пикс	Оси технологических эстакад	линейная
			< 1,5 м/пикс	Оси вдольтрассовых проездов	линейная
			< 1,5 м/пикс	Технические коридоры МТ	линейная
			< 1,5 м/пикс	Пересечения МТ	точечная
			< 1,5 м/пикс	Пересечения ЛЭП	точечная
			< 1,5 м/пикс	Пересечения вдольтрассовых проездов	точечная
			< 1,5 м/пикс	Пересечения объектов гидрографии	точечная
			Данные разрешением 1,5 м/пикс не пригодны для уверенного дешифрирования перечисленных объектов		
< 1,5 м/пикс	Сооружения крупные	площадная			
< 1,5 м/пикс	Технологическое оборудование (КПП СОД и др.)	линейная			
< 1,5 м/пикс	Технологическое оборудование (контур)	площадная			
< 0,5 м/пикс	Вантузные тройники	точечная			
< 0,5 м/пикс	Верх/низ отсыпки площадки	линейная			
< 0,5 м/пикс	Громоотводы	точечная			
< 0,5 м/пикс	Задвижки больших диаметров	точечная			
< 0,5 м/пикс	Защитные футляры	линейная			
< 0,5 м/пикс	Колодцы отбора давления	точечная			
< 0,5 м/пикс	Мачты освещения	точечная			
< 0,5 м/пикс	Ограждения	линейная			
< 0,5 м/пикс	Опоры ЛЭП (столбы)	точечная			
< 0,5 м/пикс	Оси МТ	линейная			
< 0,5 м/пикс	Оси пешеходных дорожек	линейная			
< 0,5 м/пикс	Площадки обслуживания	площадная			

Окончание таблицы 4.1

Разрешение ДДЗ			Разрешение	Класс ПД	Тип геометрии
1,5 м/пикс	0,5 м/пикс	0,1 м/пикс			
Данные разрешением 0,5 и 1,5 м/пикс не пригодны для уверенного дешифрирования перечисленных объектов			< 0,5 м/пикс	Покрытия	площадная
			< 0,5 м/пикс	Оборудованные проезды через МТ	площадная
			< 0,5 м/пикс	Резервуары мелкие и прямоугольные	площадная
			< 0,5 м/пикс	Технологические эстакады	площадная
			< 0,5 м/пикс	Технологическое оборудование (конструкции)	точечная, площадная
			< 0,1 м/пикс	Аншлаги	линейная
			< 0,1 м/пикс	Значения километража магистральных задвижек	линейная
			< 0,1 м/пикс	Дорожные знаки и указатели	точечная
			< 0,1 м/пикс	Водопропускные трубы, лотки	линейная, площадная
			< 0,1 м/пикс	Задвижки небольших диаметров	точечная
			< 0,1 м/пикс	Километровые столбы	точечная
			< 0,1 м/пикс	ЭХЗ (СКЗ, КИП, КДП, ГАЗ)	точечная
			< 0,1 м/пикс	Монолитные реперы с защитными колодцами	точечная
			< 0,1 м/пикс	Покрытия	площадная
			< 0,1 м/пикс	Покрытия оборудованных проездов через МТ	площадная
			< 0,1 м/пикс	Опоры ограждения	точечная
			< 0,1 м/пикс	Технологические трубопроводы	линейная
			< 0,1 м/пикс	Технологическое оборудование (детали)	точечная, линейная, площадная
			< 0,1 м/пикс	Лестницы, ступени, элементы сооружений	точечная, линейная, площадная
			< 0,1 м/пикс	Лотки водоотводные	площадная
< 0,1 м/пикс	Колодцы	точечная			
< 0,1 м/пикс	Кабели и провода связи или ЛЭП	точечная			
< 0,1 м/пикс	Охранные таблички	точечная			



Рисунок 4.3 – Схема дешифрирования участка ЛЧ МН на космическом изображении с разрешением 1,5 м/пикс



Рисунок 4.4 – Схема дешифрирования участка ЛЧ МН на космическом изображении с разрешением 0,5 м/пикс

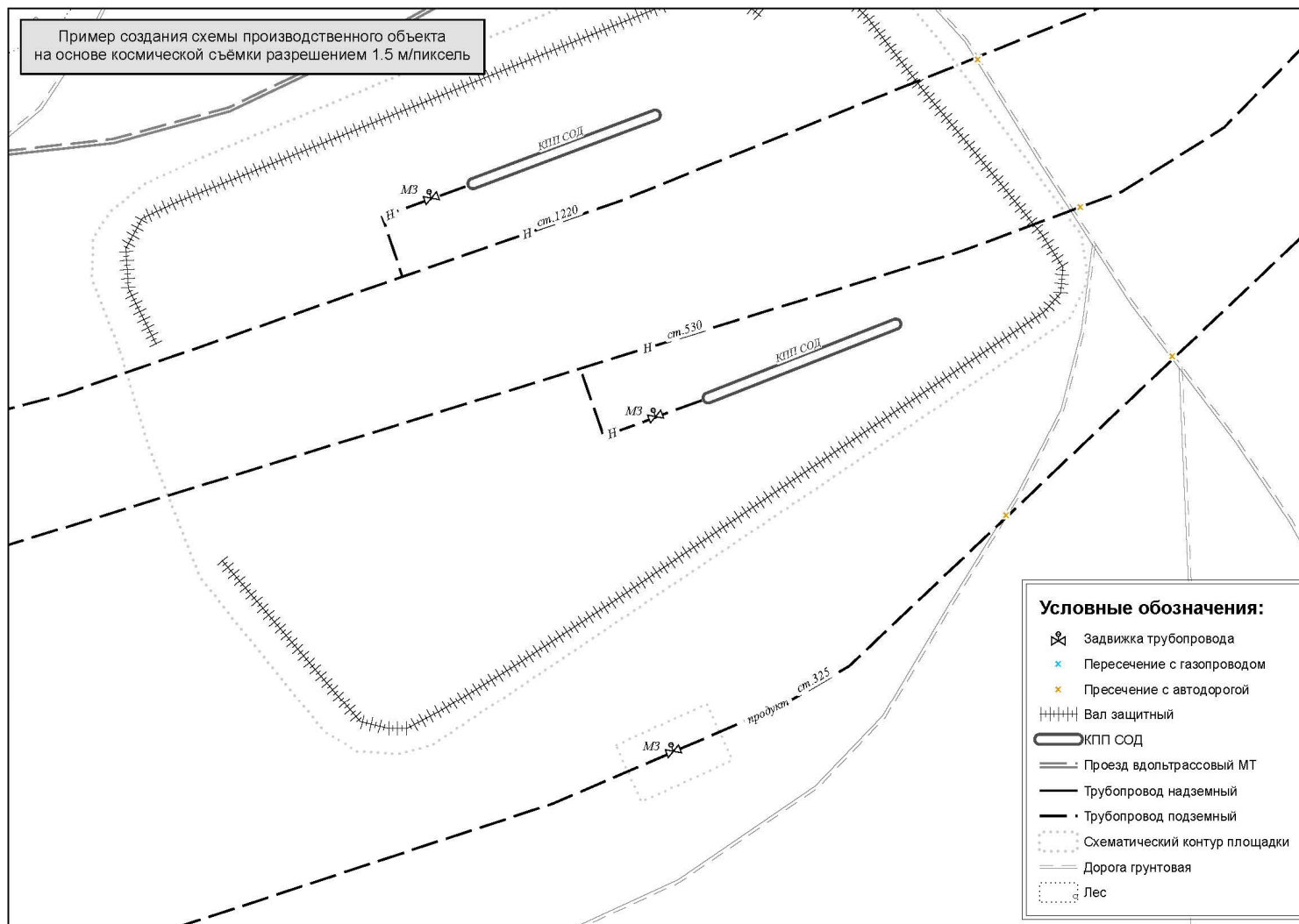


Рисунок 4.5 – Схема дешифрирования участка ЛЧ МН по космическому изображению с разрешением 1,5 м/пикс

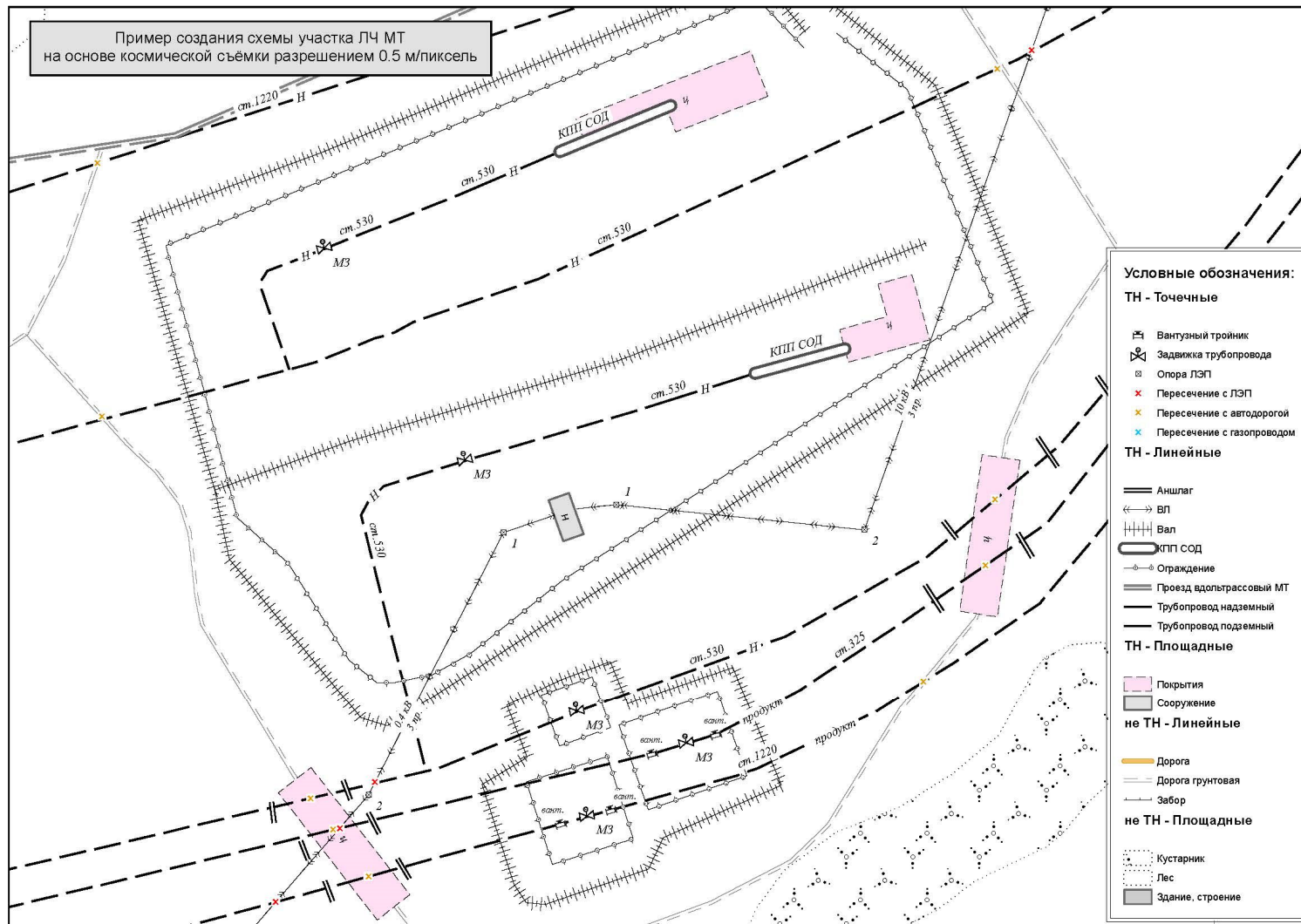


Рисунок 4.6 – Схема дешифрирования участка ЛЧ МН по космическому изображению с разрешением 0,5 м/пикс

4.1.3 Апробация технологии создания системы линейных координат для трубопроводной системы

Апробация технологии была проведена на участке трубопроводной системы Каспийского Трубопроводного Консорциума (КТК). Векторное представление осевой линии трубопровода было получено путем визуального дешифрирования космических изображений из открытого сервиса пространственных данных (Google Satellite).

Для работы с СЛК использовалось программное обеспечение ArcGIS Pro с дополнительным модулем ArcGIS Pipeline Referencing, который обеспечивает функциональность, необходимую для работы с системой линейных координат и ориентированного на работу с объектами трубопроводного транспорта.

Технология и методы работы с системой линейных координат приведены в 3.3.

Технология позволяет построить геопространственную модель трубопровода и определить по ней положение в пространстве объектов инфраструктуры, данные о положении которых имеются только в линейной системе координат (M). В частности, позволяет нанести на участки с дефектами, определенные в процессе внутритрубной диагностики. При этом производятся преобразования вида [76]:

$$M; H_{\text{БСВ}} \rightarrow X; Y; Z_{\text{wgs-84}} \rightarrow X; Y; Z_{\text{СК-2011}}. \quad (4.1)$$

Технология предполагает несколько этапов уточнения положения объектов МТ в пространстве, причем количество калибровочных точек увеличивается от первого к последнему. В нашем анализе мы реализовали три уровня детализации:

- на первом: линейная система координат участков задана камерами пуска и приема средств очистки и диагностики, то есть калибровочными точками являются начало и конец участка внутритрубной диагностики;

- на втором: в качестве калибровочных точек добавлены узлы запорной арматуры трубопровода, положение которых уточнено по космическим снимкам;

– на третьем: СЛК включает в себя также пересечения трубопровода с автомобильными и железными дорогами (рисунок 4.7).








- | | | | |
|---|---------------------------|---|--------------------------------|
|  | Ось трубопровода |  | Пересечение с автодорогой |
|  | Камеры пуска и приема СОД |  | Пересечение с железной дорогой |
|  | Запорная арматура | | |

Рисунок 4.7 – Калибровочные точки на космических снимках

В результате обеспечения исследуемых участков линейными системами координат по каждому сценарию должны быть построены события – контрольные точки, линейные координаты которых заданы. В качестве контрольных точек использованы узлы запорной арматуры.

Расчет погрешности измерений возможен путем определения отклонений (расстояний) контрольных точек от их истинного положения согласно космическому снимку (контрольное расстояние) (рисунок 4.8).

Оценка точности пространственного положения полученных данных была произведена путем измерения расстояний между объектами, построенными по СЛК, и местоположениями этих объектов на космических изображениях.

В таблице 4.2 приведен перечень контрольных точек с отклонениями, рассчитанными в результате апробации технологии.

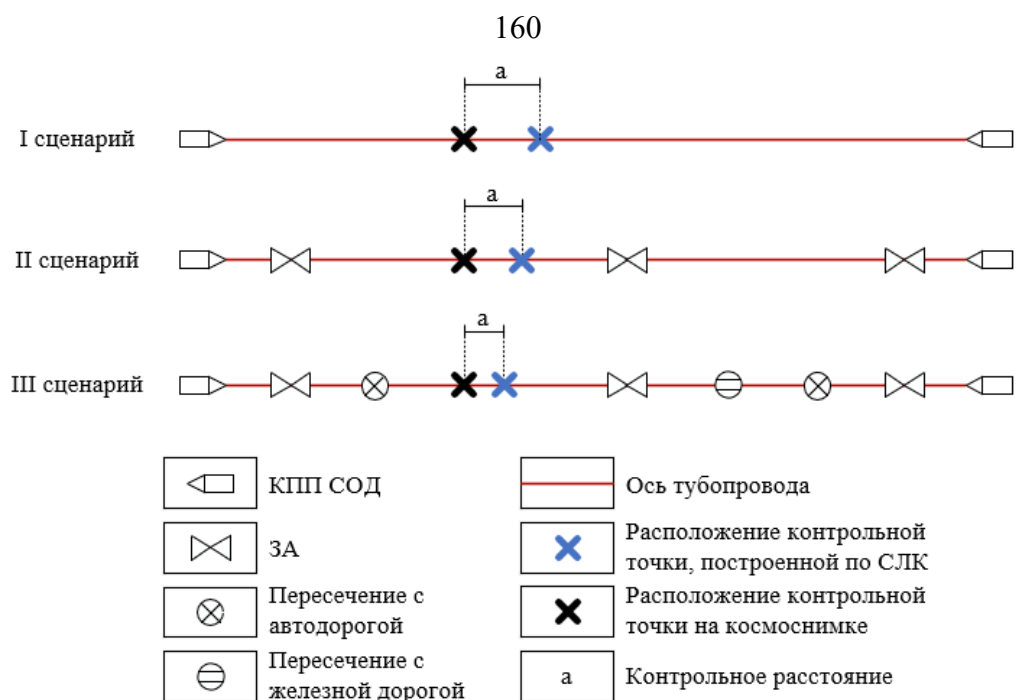


Рисунок 4.8 – Схема применения методики для трех сценариев с увеличением количества калибровочных точек

Таблица 4.2 – Контрольные точки и среднее значение отклонений в положении объектов МТ по I, II, III сценарию расчета

№ п/п	Тип объекта	Дистанция по трассе, км	Отклонение I сценарий, м	Отклонение II сценарий, м	Отклонение III сценарий, м
1	Пересечение с а/д	16,380	107	61	61
2	Пересечение с а/д	34,506	325	16	16
3	Пересечение с а/д	102,247	377	81	81
4	Пересечение с а/д	160,743	187	136	136
5	Пересечение с ж/д	194,698	211	6	6
6	Пересечение с ж/д	196,493	194	2	2
7	Пересечение с а/д	218,097	453	239	2
8	Пересечение с а/д	229,208	1548	252	2
9	Пересечение с а/д	233,637	289	257	2
10	Пересечение с а/д	263,813	242	86	86
11	Пересечение с а/д	288,761	442	149	149
12	Пересечение с а/д	303,569	442	333	3
13	Пересечение с а/д	316,561	565	348	3
14	Пересечение с а/д	330,613	828	545	367
15	Пересечение с а/д	382,188	797	420	3
16	Пересечение с а/д	458,677	717	504	4
17	Пересечение с а/д	508,389	60	391	33
18	Пересечение с а/д	546,639	68	46	46
19	Пересечение с а/д	555,257	49	64	64
20	Пересечение с ж/д	558,846	43	952	33
Средние значения отклонений			397	244	55

Расстояние на тестовом участке 1 между контрольными точками для первого сценария по прямой – 163 км, по трассе 204 км. Для этого участка по (3.8) модуль максимальной ошибки составит – **61** км. На этот параметр влияют кривизна трассы и расстояние между контрольными точками.

Как видим из таблицы 4.2, максимальная ошибка в нашей выборке составила 1 548 м, а средняя ошибка составила 397 м, что существенно меньше благодаря тому, что трасса, по которой была развернута СЛК, была предварительно векторизована по космическому изображению опытным дешифровщиком.

Дополнительная работа по определению контрольных точек и уточнению их положения позволила уточнить положение объектов МТ (см. таблицу 4.2) до 55 м. Использование материалов аэросъемки и данных ВТД позволяет определять положение объектов МТ с точностью до первых десятков метров.

В результате минимизации погрешности системы линейных координат становится возможным построение объектов инфраструктуры трубопровода, габариты, расположение или конфигурация которых препятствует их визуальному дешифрированию. К подобным составляющим трубопроводного транспорта относятся вантузы, интеллектуальные вставки, маркерные пункты, узлы отбора давления, приварные элементы, мелкие водотоки. Точность позиционирования и визуального отображения данных объектов в геоинформационной системе при увеличении количества калибровочных точек повысится.

Пространственное положение указанных объектов позволяет решать разнообразные задачи, целью которых является безопасная эксплуатация трубопроводов нефтегазового комплекса и иных протяженных сооружений и объектов.

Указанная технология также предполагает локализацию вдоль трассы трубопровода дефектов, выявленных в результате внутритрубной диагностики. Точное их позиционирование на данных ДЗЗ позволяет анализировать соответствие дефектов внешним условиям залегания, что может быть использовано для дальнейших предупредительных мероприятий обеспечения надежности функционирования магистральных трубопроводов. К внешним факторам влияния относятся разломы

земной коры, заболоченность, оползневые процессы. Космические снимки высокого разрешения в некоторых случаях позволяют определить морфометрические параметры геологических (эрозия, оврагообразование, заболачивание) и антропогенных (размывы, несанкционированные врезки) процессов. Кроме того, плановое расположение трубопровода и локализация дефектов на космических снимках могут быть использованы для решения задач по оценке объема излившейся нефти, маршрута стекания и площади нефтяного пятна в случае аварийного разлива нефти.

4.2 Апробация технологии мониторинга площадочных объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, лазерного сканирования и геопространственного моделирования при контроле строительных работ

Апробация разработанных технологий мониторинга объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, лазерного сканирования и геопространственного моделирования проводилась при контроле строительных работ в рамках реконструкции компрессорной станции на магистральном газопроводе Грязовец – Выборг, а также при мониторинге площадочных объектов МТ «Восточная Сибирь – Тихий океан».

Мониторинг хода строительства проводился с использованием технологий цифровой аэросъемки и фотограмметрических средств обработки снимков. С целью формирования единого геоинформационного пространства в рамках исследований разработана «Технологическая цифровая платформа мониторинга природно-технологической среды» (МПТС). В качестве объекта исследования была выбрана площадка строительства объекта трубопроводного транспорта.

В результате исследований было установлено, что для анализа отклонений при СМР требуется построить цифровую модель объекта «Как построено», загрузить полученные данные в единое геоинформационное пространство с проектными данными и провести контроль соответствия цифровой модели проектным решениям. Для совместного анализа цифровых моделей, обнаружения отклонений и коллизий, полевые данные, полученные на этапе СМР, должны соответствовать

точности рабочей документации. Например, при контроле результатов строительства с планом, выполненном в масштабе 1 : 500, средняя ошибка положения характерных точек объектов объекта строительства не должна превышать величину 0,2 м в соответствии с инструкцией по топографической съемке.

Мониторинг хода строительства проводился с использованием технологий цифровой аэросъемки и фотограмметрических средств обработки снимков. Для анализа отклонений при СМР была построена цифровая модель объекта, полученные данные были загружены в единое геоинформационное пространство с проектными данными для проведения контроля соответствия цифровой модели проектным решениям.

Как правило, для построения цифровых моделей «Как построено» используется технология НЛС [134, 178, 211]. Разработка информационной модели «Как построено» производится на основании облака точек, полученного в процессе НЛС. В то же время процесс по созданию модели на основании облака точек достаточно трудоемкий, альтернативой могут служить технологии создания цифровых моделей, полученных по материалам аэрофотосъемки с использованием БПЛА или ВЛС, при которых точность построения трехмерных моделей сопоставима с точностью моделей, построенных с использованием технологии НЛС [25, 191].

Анализ научной литературы показал, что вопросы практики использования беспилотных летательных аппаратов для контроля соответствия результатов строительства объектов трубопроводного транспорта проектным решениям недостаточно рассмотрен, является актуальным на сегодняшний день и представляет интерес для обеспечения контроля строительства и реконструкции объектов трубопроводного транспорта.

Аэрофотосъемка выполнялась с использованием БПЛА мультироторного типа DJI Phantom 4 Pro v2.0. Для определения координат опорных пунктов использовался 2-частотный, 2-системный GNSS-приемник PrinCe i50.

Технические параметры используемого БПЛА:

– вес в сборе: 1 375 г;

- размер по диагонали без пропеллеров: 350 мм;
- максимальная высота полета над уровнем моря: 6 000 м;
- максимальное время полета: 30 мин;
- диапазон рабочих температур: от 0 до 40°C;
- системы позиционирования: GPS/ГЛОНАСС;
- наличие модуля RTK.

БПЛА оснащен цифровой фотокамерой DJI FC 6310 с механическим затвором, фокусным расстоянием 8,8 мм и размером кадра 4 864 × 3 648 пикселей.

Управление БПЛА во время аэрофотосъемки выполнялось в автоматическом режиме с помощью автопилота Map Pilot for DJI. Параметры аэрофотосъемки приведены в таблице 4.3.

Для фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки использовалось программное обеспечение Agisoft Metashape pro (версия 1.5.3), далее – Agisoft Metashape [167].

Таблица 4.3 – Параметры аэрофотосъемки

№	Параметр	Значение
1	Высота съемки, м	59,1
2	Разрешение, см/пиксель	1,48
3	Площадь покрытия, км ²	0,611
4	Количество снимков, шт.	1 596

Создание трехмерной модели эталонного полигона выполнялось в ПО Agisoft Metashape в четыре этапа.

1 На первом этапе производится построение грубой модели объекта строительства. На этом этапе определяются общие точки на перекрывающихся снимках, а также производится расчет координат центров фотографирования и элементов взаимного ориентирования снимков. Схема позиций камеры и перекрытие снимков приводится на рисунке 4.9.

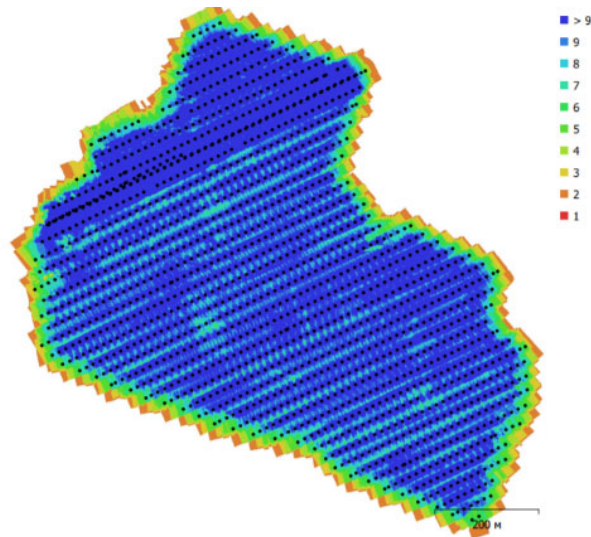


Рисунок 4.9 – Схема позиции камеры и перекрытия изображений

2 На втором этапе была произведена привязка полученной модели к внешней системе координат и уравнивание всех параметров системы, в том числе координат центров фотографирования и наземных опорных точек, углов ориентирования снимков, параметров оптической системы с использованием параметрического метода уравнивания. При уравнивании в качестве весовых коэффициентов использовали погрешности определения координат точек съемки (рисунок 4.10).

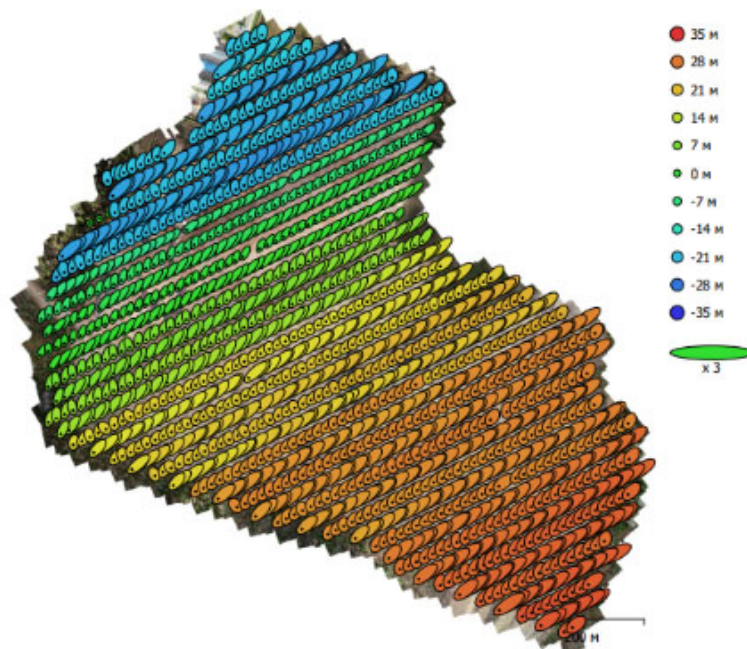


Рисунок 4.10 – Позиции съемки и оценка ошибок. Ошибка по Z отображается цветом эллипса. Ошибки в плане отображаются формой эллипса

3 На третьем этапе производилось построение полигональной модели объекта строительства на основе определенных на предыдущем этапе параметров (рисунок 4.11). В программном обеспечении Agisoft Metashape реализован механизм, заключающийся в триангуляции только общих точек, полученных на первом этапе, и более точные способы обработки, заключающиеся в определении пространственного положения для каждого элемента изображения.



Рисунок 4.11 – Полигональная модель объекта строительства, построенная по результатам ЦАФС с БПЛА

4 На заключительном этапе выполнено текстурирование полигональной модели, создание ортофотоплана и получена цифровая модель рельефа (рисунки 4.12–4.14).



Рисунок 4.12–Текстурированная полигональная модель объекта строительства



Рисунок 4.13 – Ортофотоплан площадки строительства площадочного объекта трубопроводного транспорта

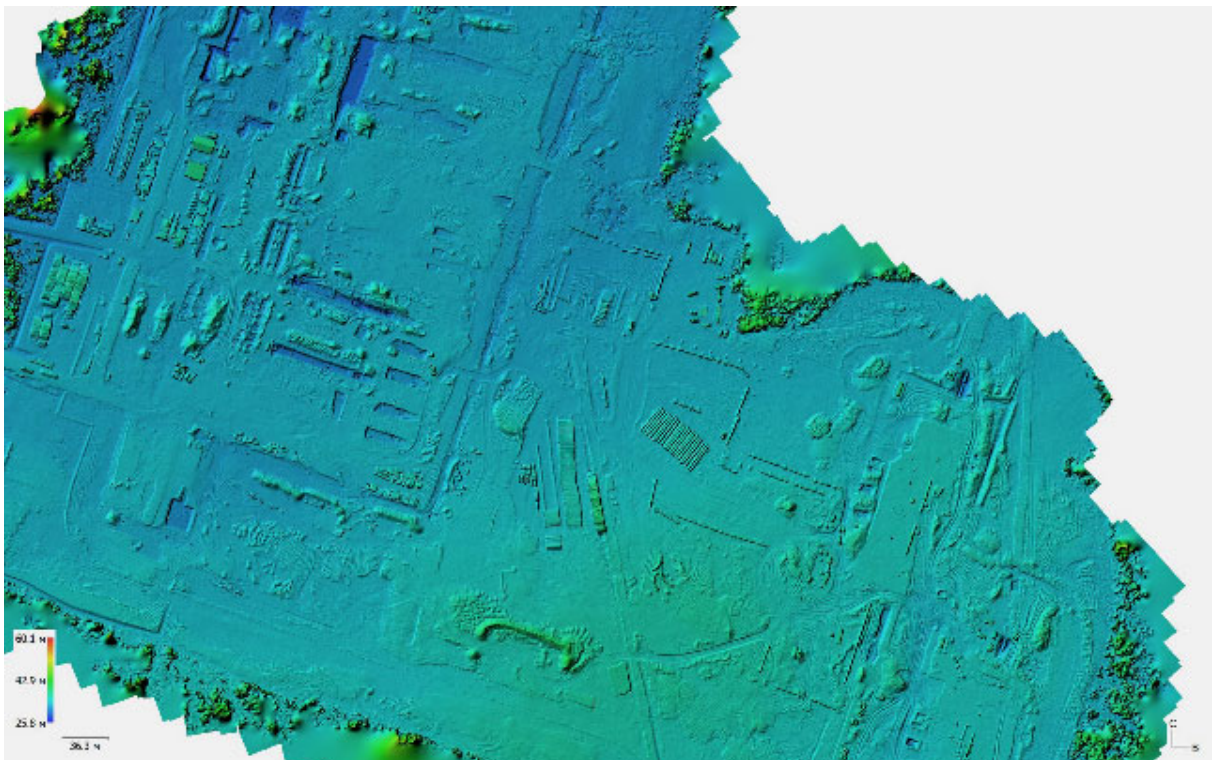


Рисунок 4.14 – Фрагмент цифровой модели рельефа объекта строительства

Оценка точности цифровых моделей

Оценка точности фотограмметрической обработки материалов аэрофото-съемки выполнялась по пунктам планово-высотного обоснования на втором этапе при уравнивании параметров системы.

Схема расположения пунктов съемочного обоснования на территории площадки строительства приведена на рисунке 4.15.

Определение координат пунктов планово-высотного обоснования выполнено в соответствии с требованиями инструкции по развитию съемочного обоснования с применением глобальных навигационных спутниковых систем [74]. Оценка точности, полученной трехмерной цифровой модели показала, что точность ее параметров составила 2,23 см в плане и 2,06 см по высоте (таблица 4.4).

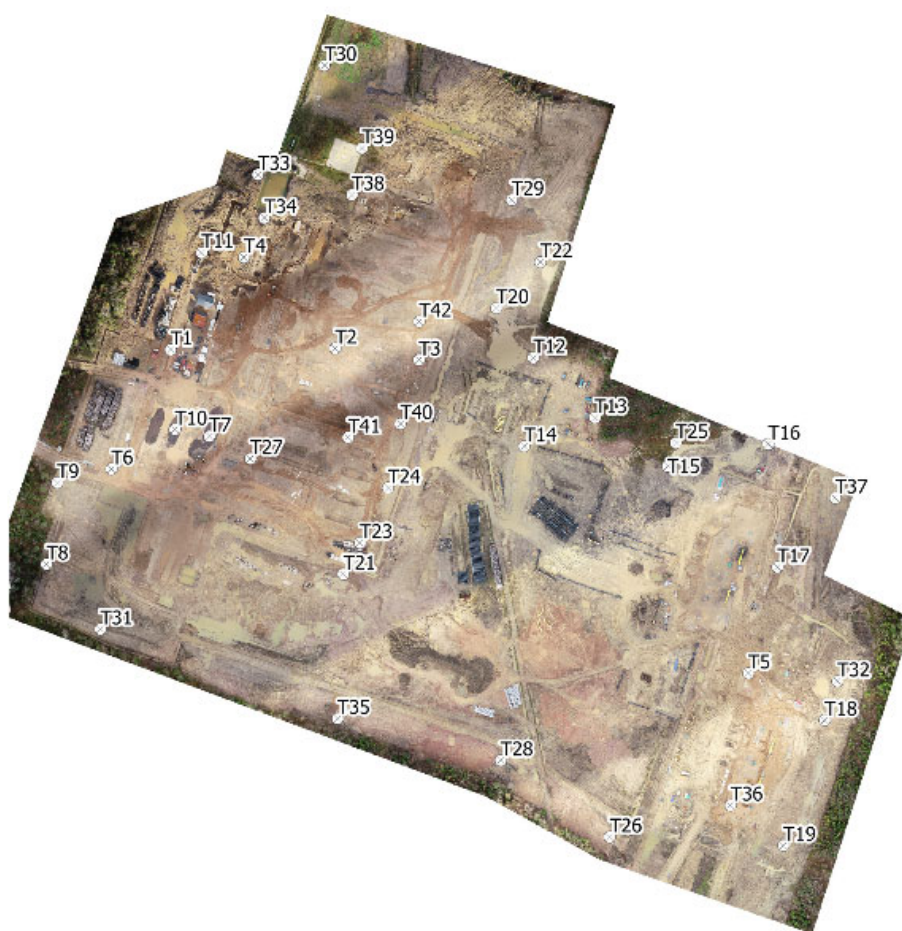


Рисунок 4.15 – Схема опорных знаков на территории площадки строительства

Таблица 4.4 – СКО цифровой модели местности

Кол-во	Ошибка, X (см)	Ошибка, Y (см)	Ошибка, Z(см)	Ошибка, XY (см)	Общая ошибка (см)
42	1,50	1,66	2,06	2,23	3,04

Анализ данных, представленных в таблице 4.4, позволил сделать вывод о соответствии СКО определения планового положения характерных точек границ (координат пунктов планово-высотного обоснования эталонного полигона) требованиям точности топографической съемки масштаба 1 : 500. Таким образом, полученная модель полностью удовлетворяет требованиям, а представленная методика может быть использована для контроля соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям.

Контроль соответствия результатов строительства проектным решениям производился путем сравнения пространственных данных проектной документации с цифровой моделью, полученной фотограмметрическим методом по материалам ЦАФС с использованием БПЛА (рисунок 4.16).

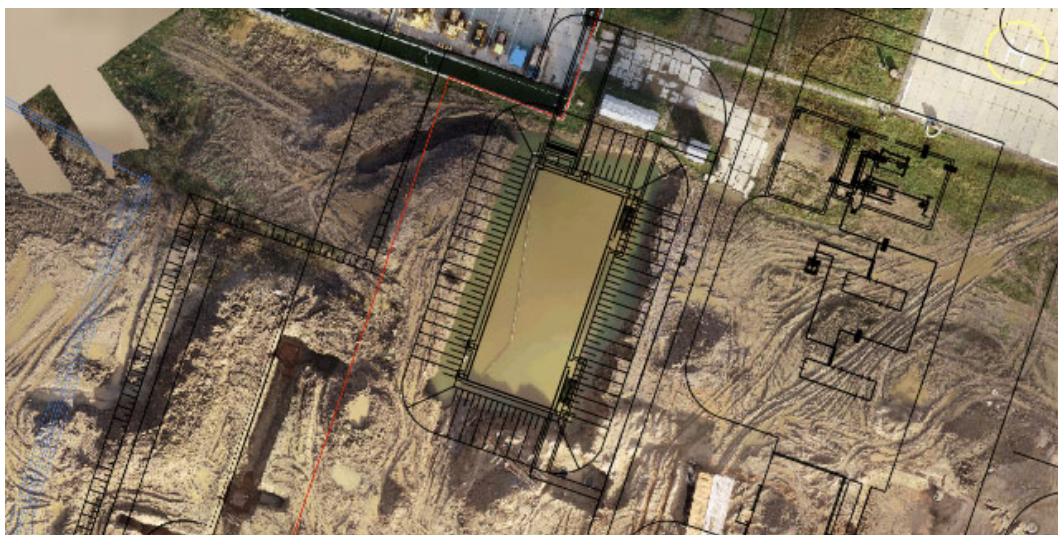


Рисунок 4.16 – Объединение проектных данных и данных аэрофотосъемки в едином геоинформационном пространстве

Контроль положения подъездных дорог не выявил отклонений, контроль соответствия размещения элементов свайного фундамента проектным решениям по-

казал отклонение от проектных решений до 40 см и необходимость внесения изменений в рабочую документацию. На рисунке синим цветом обозначено проектное положение свай на ортофотоплане, наглядно видно расхождение их планового и фактического положения (рисунок 4.17).



Рисунок 4.17 – Контроль соответствия результатов строительства проектным решениям

Наиболее существенные отклонения были выявлены при контроле высоты отсыпки площадки строительства проектным решениям, отклонения превышали в ряде случаев 1,5 м (рисунок 4.18). Контроль соответствия уровня отсыпки проектным решениям – одна из наиболее важных задач при мониторинге строительства объектов трубопроводного транспорта, особенно в условиях избыточного увлажнения объекта строительства, выбранного для апробации технологии.

На основании полученных результатов сделано заключение о целесообразности использования беспилотных летательных аппаратов для формирования геопространственных моделей объектов строительства, отображающих фактическое рас-

положение и габариты смонтированных конструкций на объекте и контроля соответствия результатов строительства проектным решениям.

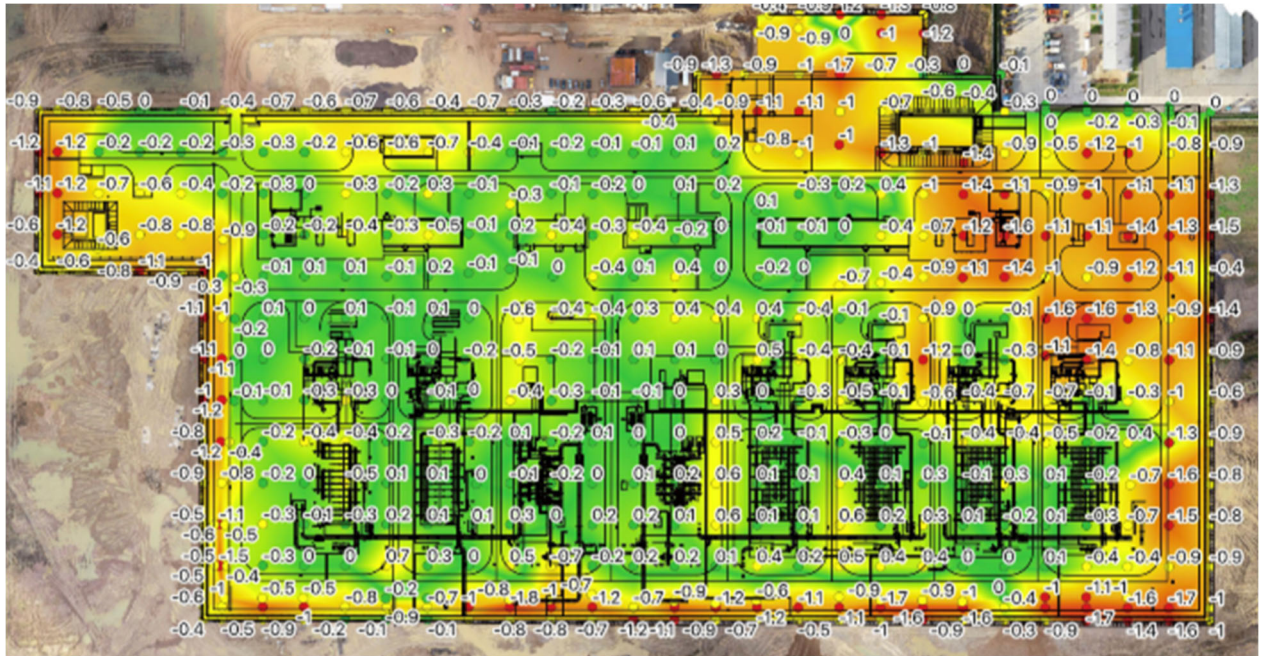


Рисунок 4.18 – Контроль соответствия уровня отсыпки проектным решениям с использованием цифровой модели рельефа

Апробация технологии геопространственного моделирования объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования Земли на основе их классификации

Целью исследования являлась апробация методических подходов, обеспечивающих геопространственное моделирование сложных промышленных объектов нефтегазового комплекса по данным различных видов съемок. В качестве исходных данных в настоящем исследовании использовались материалы, полученные в ходе сопровождения работ по реконструкции участка нефтеперерабатывающего завода в 2021 г. В рамках работ по геодезическим изысканиям производились работы по развитию геодезического обоснования, НЛС и ЦАФС. Площадь работ составила около 24 га. При проведении НЛС использовалось оборудование Leica VLK360. На рисунке приведен пример облака точек лазерного отражения, полученного методом НЛС, и опорная точка (марка) в массиве точек (рисунок 4.19).



Рисунок 4.19 – Опорная точка (марка) наземного лазерного сканирования
в облаке точек

Предварительная обработка данных ДЗЗ. Для привязки данных НЛС использовались координаты опорных точек, размещенных на опорах эстакад (марках), в среднем через каждые 300 м. Сначала уравнивались облака точек, полученные с каждой станции между собой, и затем полученный массив облака точек привязывался к маркам с целью получения облака точек в системе координат проекта. Выполнение фильтрации ложных точек обеспечило повышение точности взаимного ориентирования данных НЛС. Обработка данных НЛС производилась в ПО Кредо 3Д Скан.

Привязка данных АФС производилась по опорным точкам, размещенным на территории производства работ с плотностью 1 точка / 2,25 га. Для определения координат и высот опорных точек использовалось высокоточное геодезическое оборудование – тахеометр Trimble M3 (5”), комплект ГНСС-оборудования PrinCE I50.

Данные фотограмметрического облака и облака полученного средствами лазерного сканирования могут быть приведены к одному формату (например *.las) и объединены для последующей обработки.

Например, для задачи картографирования в масштабе 1 : 200 погрешности плановых координат для контрольных фотограмметрических точек на фотоплане не должно превышать 0,4 мм в масштабе плана (ГОСТ Р 59562–2021 Съёмка аэрофототопографическая. Технические требования). Не меньшую точность нам необходимо обеспечить и в процессе проведения НЛС. То, что данные НЛС будут более точными, роли не играет, так как итоговую точность определяют более низкоточные данные ЦАФС.

В процессе проведения работ погрешности определения координат составили:

- определения координат ОГС: до 1 см;
- определения марок на опорах эстакады: 2,5 см;
- определения опознаков на поверхности земли: 2 см;
- определения координат контрольных точек НЛС: 3,5 см;
- определения координат контрольных фотограмметрических точек: до 5 см.

Предварительная обработка результатов аэрофотосъемки выполнялась в программном обеспечении (ПО) Agisoft Metashape. Совмещение и последующая обработка данных аэрофотосъемки и НЛС производилось в ПО Кредо-Диалог Кредо 3Д Скан и Bricsys BricsCAD (рисунок 4.20).

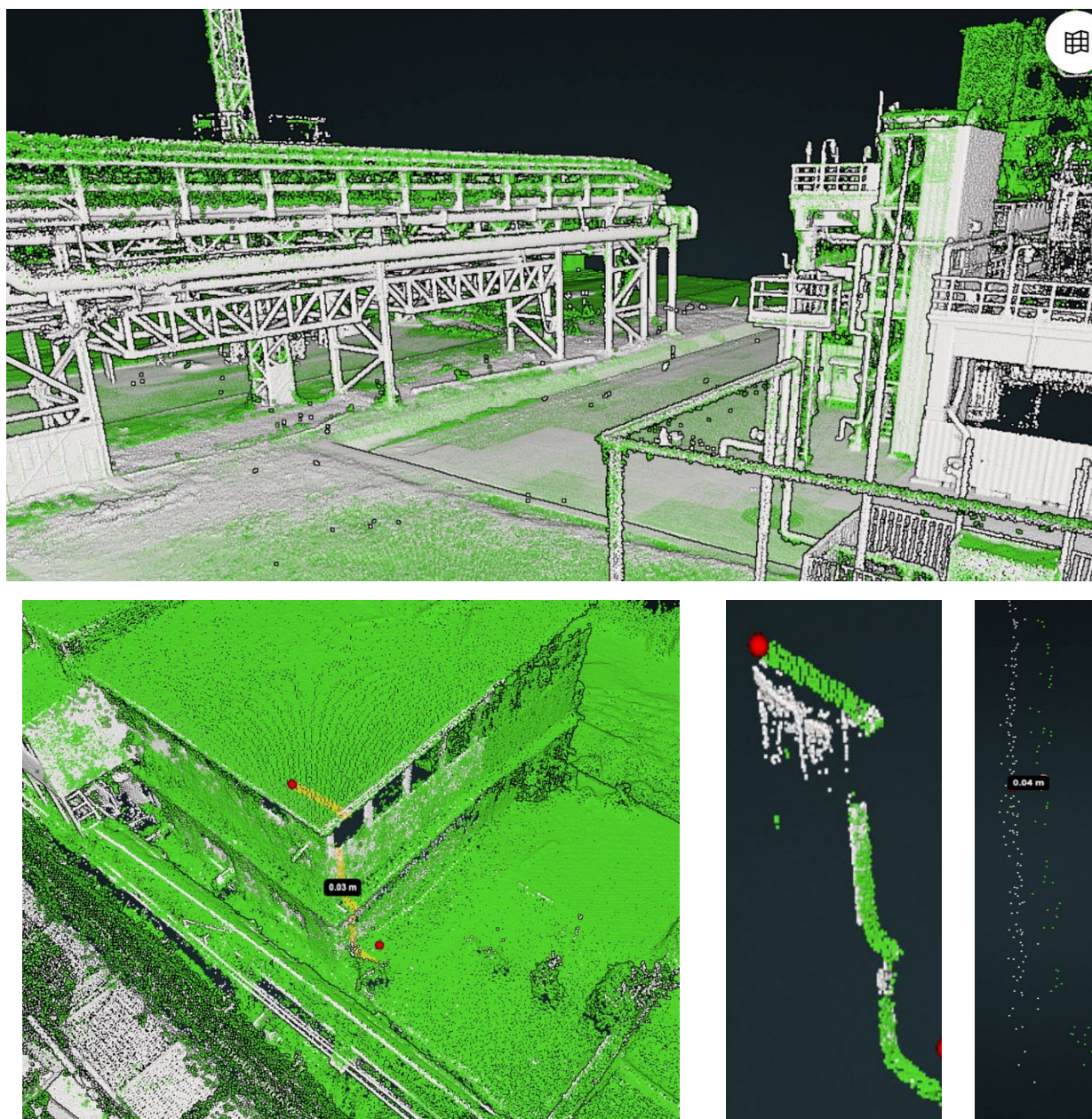


Рисунок 4.20 – Совмещение фотограмметрического (зеленый цвет) и облака, полученного в процессе НЛС (белый цвет)

Формирование классификатора предметной области

Геопространственное моделирование площадного объекта трубопроводного транспорта выполнялось по данным лазерного сканирования с использованием разработанного иерархического классификатора (рисунок 4.21).

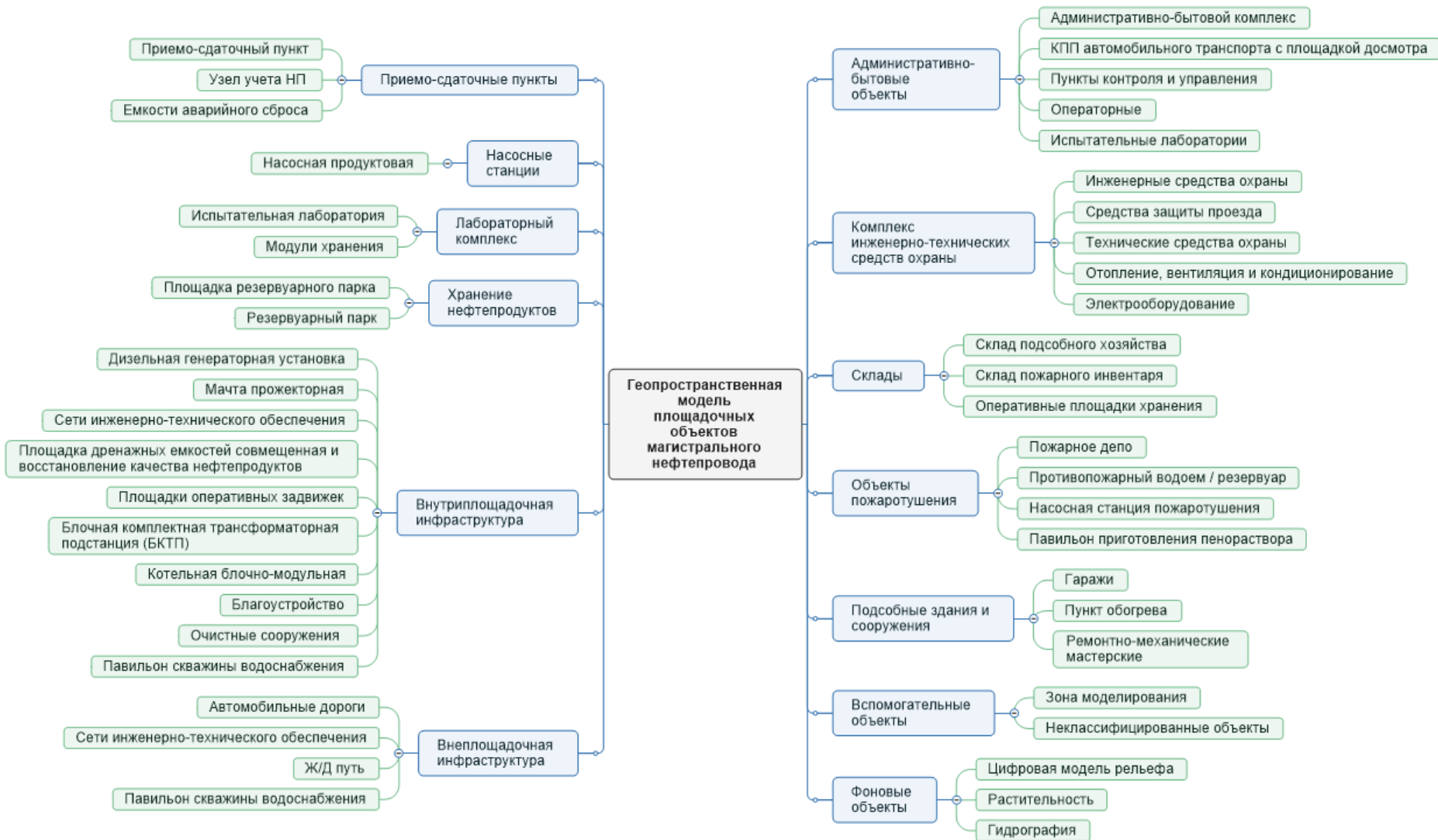


Рисунок 4.21 – Иерархический классификатора объектов МТ (фрагмент)

Геопространственное моделирование

Геопространственное моделирование объектов нефтегазового комплекса по данным лазерного сканирования производилось по единому облаку, сформированному в процессе предварительной обработки данных мониторинга. Предварительно была проведена классификация облака точек, которая позволила разделить массивы точек, относящихся к поверхности земли, к растительности и инфраструктуре. По точкам, относящимся к поверхности Земли, была построена цифровая модель рельефа (рисунок 4.22).

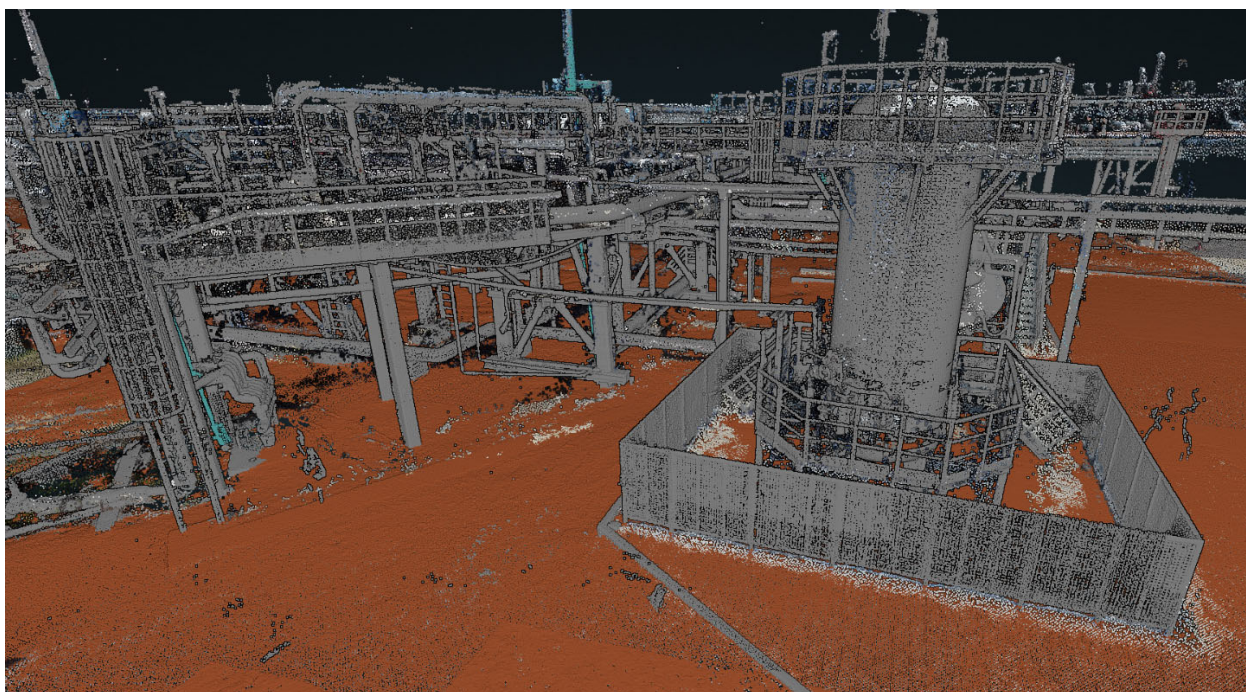


Рисунок 4.22 – Разделение облака точек на классы, относящиеся к поверхности Земли и к инфраструктурным объектам

Массив точек, относящихся к инфраструктуре, мы использовали при геопространственном моделировании объектов нефтегазового комплекса. При этом облака точек были преобразованы в трехмерные пространственные модели. Пример облака точек и трехмерной пространственной модели приведен на рисунке 4.23.

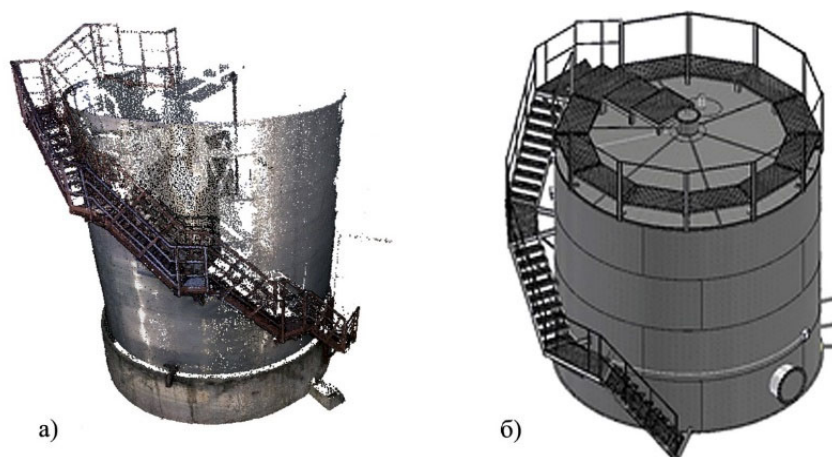


Рисунок 4.23 – Резервуар цилиндрический:

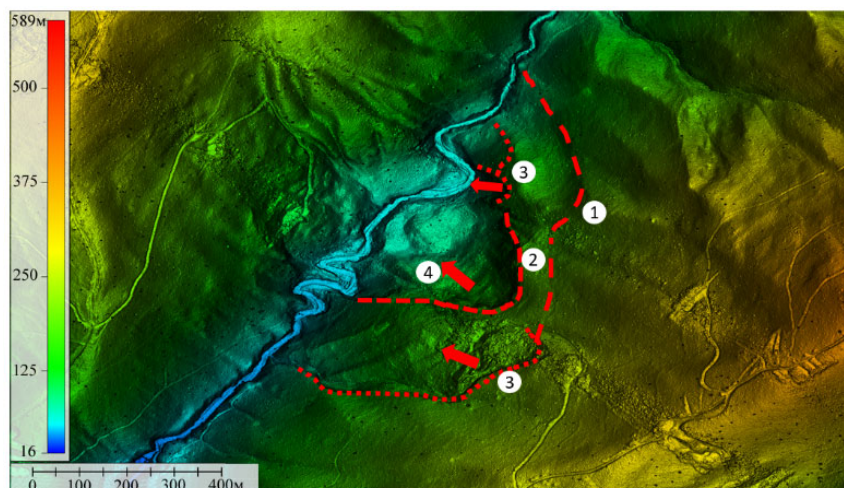
а) облако точек, полученное методом НЛС; б) трехмерная модель

Конструирование трехмерных моделей является частью геоинформационного моделирования и реализуется с помощью специализированного программного обеспечения, позволяющего сформировать трехмерную модель местности с использованием как данных лазерного сканирования, так и результатов трехмерного моделирования.

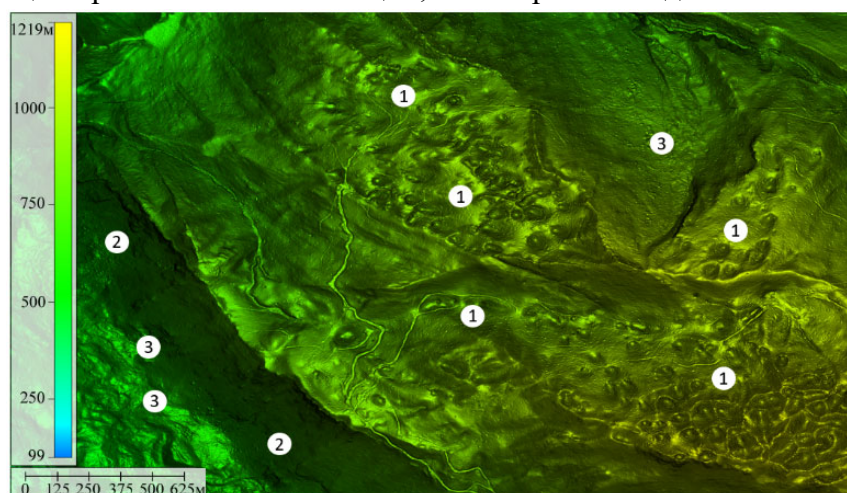
4.3 Апробация технологии дешифрирования опасных геологических процессов с использованием геопространственных моделей по данным лазерного сканирования и цифровой аэросъемки

Апробация технологии дешифрирования опасных геологических процессов с использованием геопространственных моделей по данным лазерного сканирования и цифровой аэросъемки проводилась на примере участка проектируемой трассы «Южный поток» и в процессе геотехнического мониторинга трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий океан».

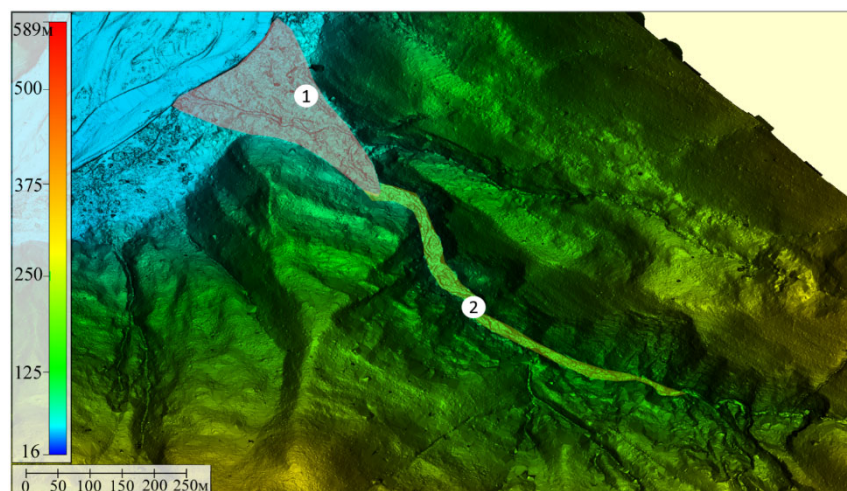
В качестве исходных данных использовались материалы ВЛС проектируемой трассы в сложных природных условиях, полученные с использованием БАС. Количественные характеристики ОГП были получены с использованием трехмерных цифровых моделей в ГИС Global Mapper. В рамках исследования была проведена апробация получения количественных характеристик, следующих ОГП: оползневых процессов, образующиеся на поверхностях крутизной 10 и более градусов, карстовых, а также селевых процессов (рисунок 4.24).



а) оползень на цифровой модели рельефа: 1 – бровка срыва древнего оползня; 2 – бровка срыва оползня второй генерации длительной стабилизации; 3 – бровка срыва третьей генерации временной стабилизации; 4 – направление движения оползневых масс



б) проявления карстовых и гравитационных склоновых процессов на цифровой модели рельефа: 1 – карстовая воронка; 2 – осыпь; 3 – оползень



в) селевой бассейн на цифровой модели рельефа: 1 – конус выноса, частично переработанный рекой; 2 – русло

Рисунок 4.24 – Дешифрирования ОГП по данным ВЛС

Выявление и контроль за протеканием ОГП и местами их возможного проявления является одной из наиболее важных задач в процессе эксплуатации магистральных трубопроводов, так как опасные геологические процессы могут стать причиной дефекта или аварии на трубопроводе. Поэтому выявление и контроль за их протеканием, местами их возможного проявления является одной из наиболее важных задач в процессе эксплуатации магистральных трубопроводов, так как они могут стать причиной дефекта или аварии на трубопроводе. Уже в процессе проектирования должны быть выявлены опасные геологические процессы на участке строительства, процессы, способные повлиять на техническую систему МТ. Должны быть определены: карстовые пустоты, оползневые процессы, границы грунтов со свойствами виброползучести и суффозионными свойствами.

В качестве материала для апробации технологии дешифрирования опасных природных процессов использовались материалы воздушного лазерного сканирования (облака точек лазерного отражения), а также материалы аэрофотосъемки участков участка проектируемой трассы газопровода «Южный поток», полученные с использованием БПЛА. Ширина полосы съемки составила 1 000 м. Плотность точек лазерного отражения – 5 точек на 1 м².

В рамках исследования была проведена апробация методологических подходов получения количественных характеристик следующих ОГП:

- оползневых процессов, образующиеся в зонах распространения легко выветриваемых полускальных или глинистых грунтов на поверхностях крутизной от 10°;
- карстовых, которые происходят в зонах распространения скальных грунтов карбонатного, гипсового, соляного, сульфатного состава;
- селевых, которые происходят при выносе грязекаменного материала, в том числе оползневых масс, водными потоками при сильных паводках.

В программном обеспечении Terrasolid компании Bentley Systems по материалам ВЛС и ЦАФС было сформировано единое облако точек лазерного отражения участка трассы.

На следующем шаге было проведено дешифрирование опасных геологических процессов по данным лазерного сканирования. Распознавание опасных про-

цессов, определение контуров и получение количественных характеристик производилось в настольной геоинформационной системе Global Mapper (рисунок 4.25).

Мониторинг ОГП в процессе геотехнического мониторинга МТ

После завершения строительства уже в процессе эксплуатации МТ оказывает существенное влияние на протекание природных процессов в коридоре трассы, которые также могут являться причиной аварий и дефектов на трубопроводе.

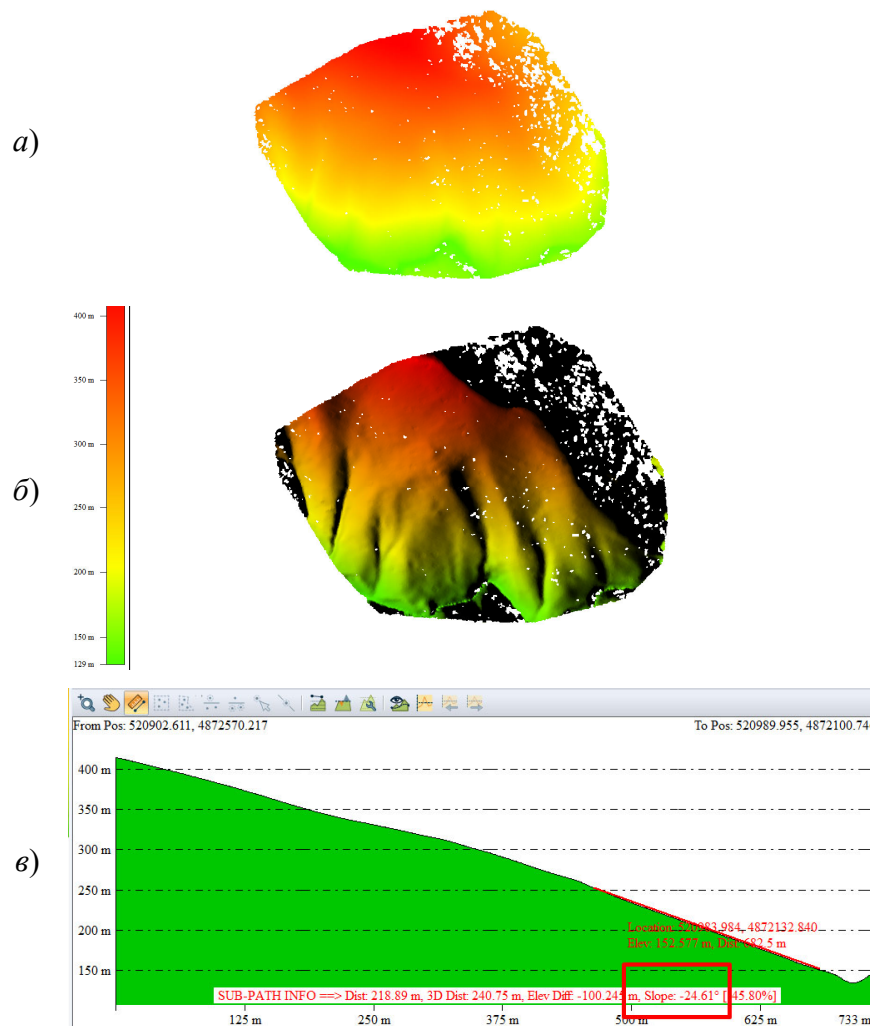


Рисунок 4.25 – Исследование ОГП с использованием данных воздушного лазерного сканирование в ПО Global Mapper

- а) вырезание исследуемого участка из облака точек; б) построение трехмерной геопространственной модели участка склона по облаку точек; в) получение количественных характеристик ОГП путем анализа геометрии построенной трехмерной цифровой модели: длина склона, перепад высот, крутизна склона

Геотехнический мониторинг с использованием технологий ВЛС и геопространственного моделирования позволяет своевременно выявлять изменения в рельефе, в том числе проявления ОГП (рисунок 4.26). Такие исследования особенно актуальны для участков трассы МТ со сложными природно-климатическими условиями.

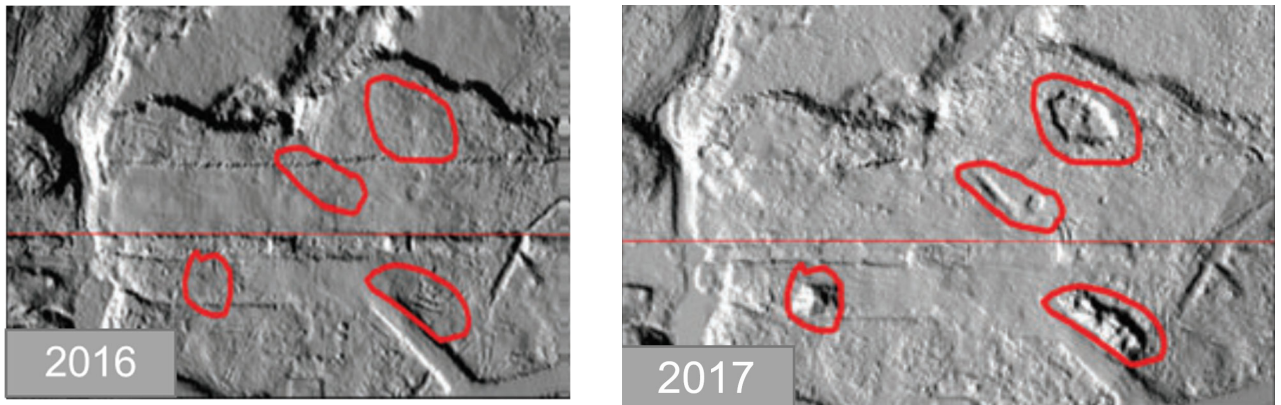


Рисунок 4.26 – Изменение рельефа в коридоре трассы трубопровода на фоне отмывки рельефа, выявленные в процессе геотехнического мониторинга средствами ВЛС

Развитие аэрокосмических технологий должно включать работы по созданию отечественных средств обработки материалов ДЗЗ, разработку инструментов анализа данных лазерного сканирования, геопространственного моделирования, для решения задач выявления и оценки опасности протекающих геологических процессов. Такое программное обеспечение должно позволять объединить в одном пространстве данные лазерного сканирования, аэрокосмические изображения, а также векторную информацию о положении трассы, включая информацию о секциях и их характеристиках, полученную по данным внутритрубной диагностики.

Примером такого программного обеспечения может являться «Технологическая цифровая платформа мониторинга природно-технологической среды», созданная для анализа данных аэрокосмического мониторинга территорий [176]. Помимо этого, важными являются работы по формированию и расширению каталога эталонов ОГП для более надежного распознавания ОГП.

4.4 Апробация технологии аэрокосмического мониторинга паводковой ситуации в коридоре трасс трубопроводных систем

Технология аэрокосмического мониторинга паводковой ситуации в коридоре трасс трубопроводных систем была апробирована при мониторинге затопления рекой Ия инфраструктуры трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» в окрестностях г. Тулун. В качестве исходных данных были использованы многозональные космические изображения Sentinel-2A и ЦМР, построенной по данным SRTM [263].

Исследовательские работы по обработке многозональных космических изображений для мониторинга паводковой обстановки были проведены на примере паводка в г. Тулун в 2019 г. (рисунок 4.27). Эта территория интересна тем, что включает линейные и площадочные объекты магистрального нефтепровода, населенный пункт, объекты инфраструктуры, которые были подвержены подтоплению из-за резкого подъема воды в реке Ия.



Рисунок 4.27 – Территория г. Тулун в период паводка на космическом изображении (01.07.2019)

Территория интересна тем, что включает линейные и площадочные объекты магистрального нефтепровода, населенный пункт, объекты инфраструктуры, которые были подвержены подтоплению из-за резкого подъема воды в реке Ия.

Для исследований были использованы спутниковые снимки, полученные в период с 19 июня по 4 июля 2019 г. с минимальным содержанием облачности или безоблачные. С источника данных [262] были получены многоспектральные изображения КА Sentinel-2A. Каждое изображение имеет тринадцать спектральных каналов с пространственным разрешением от 10 до 60 м.

Для построения водных индексов использовалось пять спектральных изображений: «Sentinel-2AL1C, B02.tiff»; «Sentinel-2AL1C, B03.tiff»; «Sentinel-2AL1C, B08.tiff»; «Sentinel-2AL1C, B11.tiff»; «Sentinel-2AL1C, B12.tiff».

По спектральным изображениям Sentinel-2A были построены индексные изображения (для удобства в квадратных скобках после спектров указан номер соответствующего канала):

$$NDWI = \frac{(Green[3] - NIR[8])}{(Green[3] + NIR[8])}, \quad (4.2)$$

$$MNDWI = \frac{(Green[3] - SWIR1[11])}{(Green[3] + SWIR1[11])}, \quad (4.3)$$

$$AWEI_nsh = 4 \times (Green[3] - SWIR1[11]) - (0,25 \times NIR[8] + 2,75 \times SWIR2[12]), \quad (4.4)$$

$$AWEI_sh = Blue[2] + 2.5 \times Green[3] - 1.5 \times (NIR[8] + SWIR1[11]) - 0.25 \times SWIR2[12]. \quad (4.5)$$

Индексные изображения были построены в программном обеспечении QGIS (рисунок 4.28). К водным объектам относятся пиксели изображений, принимающие положительное значение.

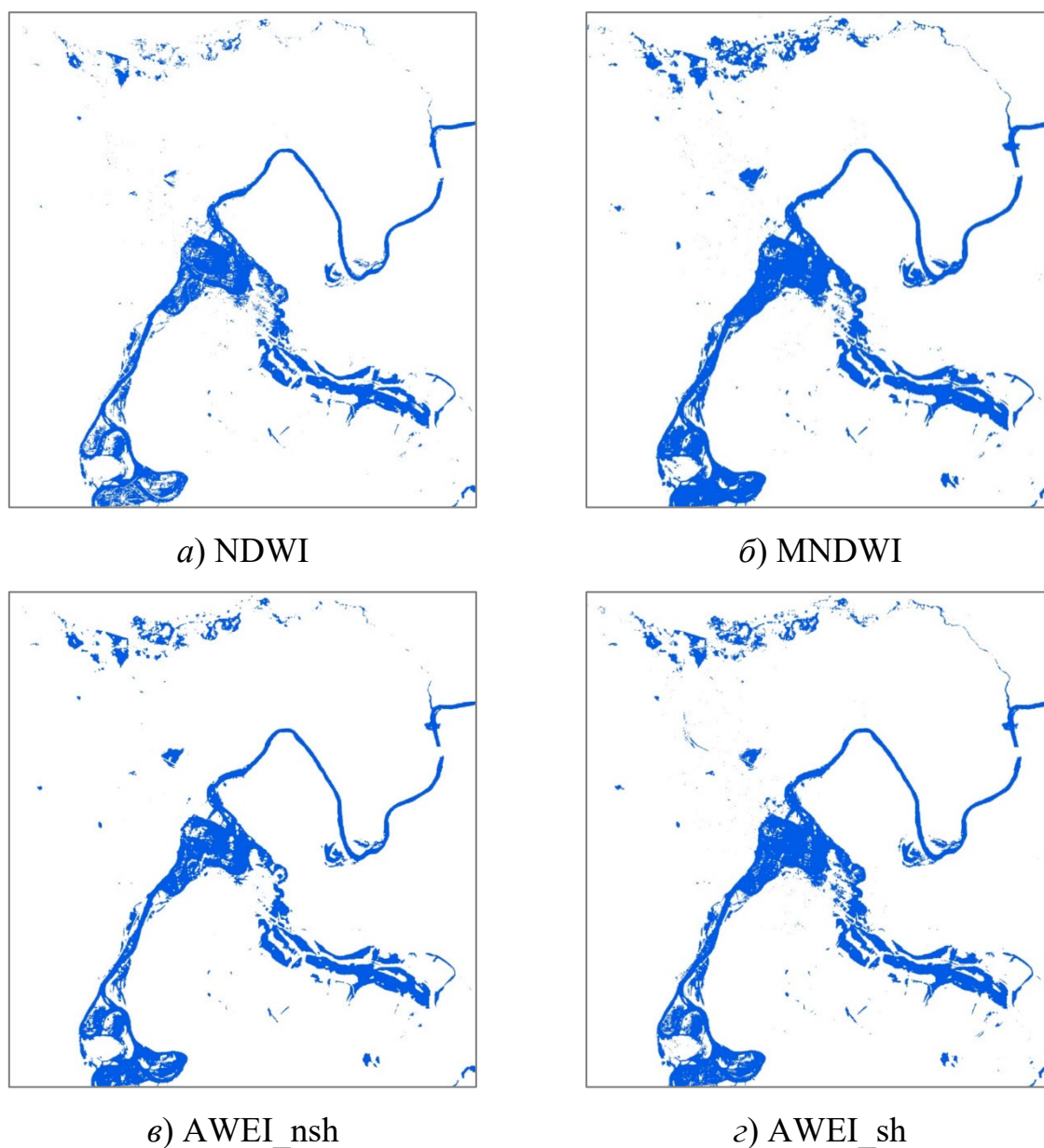


Рисунок 4.28 – Изображения водных масок, полученных по данным спектральных индексов:

a) NDWI; б) MNDWI; в) AWEI_nsh; г) AWEI_sh

Оценка точности производилась на тестовых участках территории города и участке подводного перехода магистрального нефтепровода. Космическое изображение с разрешением 0,5 м было основным источником информации о паводковой обстановке во время подъема воды, по которому была построена эталонная маска для оценки эффективности водных индексов.

В таблицах 4.5 и 4.6 приведены результаты оценки точности определения водных объектов по индексным изображениям: NDWI, MNDWI, AWEI_nsh, AWEI_sh. Для оценки точности классификации водной поверхности был рассчитан коэффициент Каппа [88].

Таблица 4.5 – Точность автоматизированного дешифрирования водных объектов при затоплении застроенных территорий с использованием индексных изображений

Наименование индекса	Диапазон значений поиска	Точность определения, %	Коэффициент Каппа	Пространственное разрешение, м
NDWI	> 0,0	97,05	0,941	10
MNDWI	> 0,0	98,05	0,961	20
AWEI_nsh	> 0,0	97,60	0,952	20
AWEI_nsh	> -0,16	97,90	0,958	20
AWEI_sh	> 0,0	97,95	0,959	20
AWEI_sh	> -0,16	98,15	0,963	20

Таблица 4.6 – Точность автоматизированного дешифрирования водных объектов на участке подводного перехода с использованием спектральных индексов

Наименование индекса	Диапазон значений поиска	Точность определения, %	Коэффициент Каппа	Пространственное разрешение, м
NDWI	> 0,0	98,00	0,960	10
MNDWI	> 0,0	98,10	0,962	20
AWEI_nsh	> 0,0	98,05	0,961	20
AWEI_nsh	> - 0,16	98,15	0,963	20
AWEI_sh	> 0,0	98,05	0,961	20
AWEI_sh	> - 0,16	98,10	0,962	20

Экспериментальные исследования показали, что для мониторинга паводковой обстановки в условиях городской застройки наиболее эффективны водные индексы MNDWI и AWEI_sh. Для участков прохождения МТ за пределами города эффективность рассмотренных водных индексов близка. Это объясняется тем, что чем больше разница между длинами волн в используемых каналах (видимый, NIR, SWIR), тем увереннее распознаются застроенные территории и зоны затопления.

Для индексных изображений были проведены дополнительные расчеты, учитывая различные варианты диапазонов значений принадлежности пикселей к водным объектам. Это позволило более точно найти порог значений для индексов AWEI, при которых пиксель можно считать принадлежащим водным объектам (см. таблицы 4.5, 4.6).

Основной проблемой мониторинга половодий по данным ДЗЗ можно назвать нехватку оперативных данных [209]. Эта проблема связана с ограничениями частоты повторения спутниковой съемки конкретных затопляемых территорий и наличием облачности. Поэтому при наблюдениях половодий целесообразно использовать информацию со всех доступных космических систем, используя единые подходы к обработке спектральных данных. Однако следует учитывать, что для задач мониторинга объектов трубопроводного транспорта, пространственное разрешение данных некоторых КА, таких, как TERRA или AQUA, не позволяет дешифровать кромку воды с достаточной точностью.

Для прогноза зон затопления, определения расхода воды в створах перехода МТ через реки и водотоки мы рекомендуем использовать ЦМР, построенные по глобальным данным рельефа (SRTM, ArcticDEM, ALOS DEM и др.), детализированные по данным ВЛС, а также создавать архив карт затоплений, произошедших ранее [141, 224, 263].

Для улучшения качества мониторинга необходимо использовать данные стационарных гидропостов и, по возможности, организовывать временные (мобильные) посты гидрологических наблюдений в паводкоопасных районах. В перспективе, целесообразно провести моделирование зон затопления по космическим снимкам высокого пространственного разрешения в сочетании с данными об уровнях воды, определяемых на гидропостах. Такие модели способны обеспечить возможность более оперативно оценивать общую гидрологическую обстановку и динамику ее развития.

При мониторинге паводковой обстановки в зонах эксплуатации техногенных комплексов трубопроводных систем следует учитывать задачи, связанные с обес-

печением безопасной эксплуатации МТ, при организации мониторинга планировать работы, обеспечивающие получение пространственных данных необходимого пространственного разрешения и периодичности наблюдений, в том числе проводить периодические обследования подводных переходов современными средствами цифровой аэросъемки и ВЛС. Эти средства позволяют получить данные ДЗЗ, необходимые для анализа технического состояния береговых участков и контроля планово-высотного положения трубопровода после прохождения паводка.

Выводы по четвертому разделу

В процессе настоящего научного исследования были проведены работы по апробации разработанных и теоретически обоснованных методов, технологий и программного обеспечения на объектах трубопроводного транспорта РФ. Апробация на конкретных примерах подтвердила корректность разработанных теоретических положений, методологических подходов и технических решений.

В ходе геотехнического мониторинга МТ «Восточная Сибирь – Тихий океан» была апробирована на практике технология мониторинга объектов трубопроводного транспорта с использованием ЦАФС, ВЛС и метода внутритрубной диагностики. Комплексный анализ данных в едином геоинформационном пространстве позволил определить опасные природные процессы, которые являлись источниками дефектов, на трубопроводе, в сложных природно-климатических условиях Восточной Сибири.

Для пространственного позиционирования на карте трубных секций с дефектами была разработана и многократно использована технология создания системы линейных координат для трубопроводной системы. Именно она позволяет определить в пространстве объекты, которые изначально имеют только одну координатную привязку – расстояние от начала трассы. Для калибровки системы линейных координат МТ, а также для задач обновления карт и наполнения отраслевых баз пространственных данных была разработана и использовалась в производственной деятельности технология дешифрирования на аэрокосмических изображениях объ-

ектов магистральных трубопроводов, основанная на сочетании методов преобразования линейных координат объектов трубопровода в геодезические и технологии дешифрирования на аэро- и космических изображениях трубопроводной инфраструктуры с использованием классификатора распознаваемых объектов МТ.

В рамках работ, проведенных на тестовой площадке, технологии ЦАФС и геопространственного моделирования были апробированы для проведения контроля соответствия результатов строительства проектной документации. По результатам ЦАФС была построена цифровая модель с точностью 4 см. Затем модель была загружена в МПТС совместно с проектными данными для проведения контроля соответствия цифровой модели проектным решениям.

Проверка технологии дешифрирования опасных геологических процессов с использованием геопространственных моделей по данным лазерного сканирования и цифровой аэросъемки была проведена на участке проектируемой трассы «Южный поток» и в процессе геотехнического мониторинга трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий океан». Применение технологий ВЛС продемонстрировало свою эффективность как в выявлении ОГП, так и при их мониторинге. Применение беспилотных технологий повышает оперативность мониторинга опасных процессов в коридоре трассы, связанных с техногенной нагрузкой МТ. Получение качественных и количественных характеристик ОГП, оценку изменений рекомендуется осуществлять с использованием специализированных ГИС, поддерживающих работу с трехмерными пространственными данными.

Апробация технологии аэрокосмического мониторинга паводковой ситуации в коридоре трасс трубопроводных систем была проведена на примере МТ «Восточная Сибирь – Тихий океан» в окрестностях г. Тулун. Технология определения водных объектов основана на использовании индексных изображений. Экспериментальные исследования подтвердили, что для мониторинга паводковой обстановки в условиях городской застройки наиболее эффективны водные индексы MNDWI и AWEI_sh. Для участков прохождения магистральных трубопроводов за пределами города эффективность рассмотренных водных индексов близка. В обоих случаях удастся получить более высокие значения точности определения зоны подтоп-

ления с использованием индексов AWEI за счет уточнения порога значений для водных объектов.

В процессе периодических обследований подводных переходов МТ требуется использовать уже средства цифровой аэросъемки и ВЛС. Эти средства позволяют получить более детальные пространственные данные, необходимые для геопрограмственного моделирования и использования трехмерных цифровых моделей при анализе технического состояния береговых участков, контроля планово-высотного положения трубопровода после прохождения паводка и прогноза развития процесса затопления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования реализовано новое направление, связанное с использованием технологий дистанционного зондирования для создания и использования геопространственных моделей объектов трубопроводного транспорта, обеспечивающих анализ состояния трубопроводных систем и опасных природных процессов, протекающих в коридоре трассы. Поставленная цель – теоретическое обоснование разработки технологий аэрокосмических исследований для создания геопространственных моделей систем трубопроводного транспорта, обеспечивающей их безопасную эксплуатацию – достигнута.

Основные научные и практические результаты, полученные в ходе исследования, заключаются в следующем:

1) анализ современных технологий аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования позволил выявить актуальные потребности использования аэрокосмических технологий при информационном обеспечении функционирования систем трубопроводного транспорта, определить имеющие место проблемы при проектировании, строительстве и эксплуатации трубопроводного транспорта Российской Федерации и недостаточный уровень используемых в настоящее время технологий аэрокосмических исследований и трехмерного моделирования, а также сформулировать цель и направления настоящей работы;

2) разработан комплекс методологических принципов геопространственного моделирования и создания технологий аэрокосмических исследований систем трубопроводного транспорта, предполагающий использование принципа *единства измерений* при формировании единого координатного пространства, *идентификации и интерпретируемости* – для корректной оценки результатов мониторинга, *динамичности* при организации работ по мониторингу, изучение всех компонентов природно-технической системы (*принцип системности*), необходимость *модернизации* в связи с появлением новых технологий, *принципов преемственности и разумной достаточности* при построении технических решений, *унификации* при

геопространственном моделировании, *комплексности* применения разнородных технологических средств при построении системы аэрокосмического мониторинга, что обуславливает возможность построения трехмерных моделей природно-технических систем трубопроводного транспорта ошибкой не более 5–10 см на местности, при минимальной трудоемкости и себестоимости;

3) на основе сформированного комплекса методологических принципов разработаны теоретические основы аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования трубопроводных систем, что позволяет реализовать систему мониторинга трубопроводов с использованием технологий беспилотной съемки и трехмерного моделирования;

4) разработаны методологические основы формирования единого координатного пространства трубопроводного транспорта, что обеспечивает интеграцию разнородной пространственной информации (облаков точек воздушного лазерного сканирования, цифровых изображений, векторной информации, трехмерных цифровых моделей, в том числе полученных фотограмметрическими методами) для комплексного анализа и построения геопространственных моделей;

5) разработана методология создания и использования геопространственных моделей по данным дистанционного зондирования, которая обеспечивают решение задач мониторинга трубопроводных систем, включая анализ геометрии объектов инфраструктуры, оценку протекающих в коридоре трассы опасных природных процессов и прогноз их динамики;

6) разработаны методы и технологии аэрокосмического мониторинга на основе применения геопространственного моделирования, расширяющие возможности использования материалов ДЗЗ с учетом особенностей и специфики функционирования трубопроводной системы и обеспечивающие контроль состояния протяженных линейных объектов в процессе строительства и эксплуатации с точностью до 4 см;

7) разработаны методы и технологии дешифрирования объектов трубопровода, опасных природно-техногенных процессов, которые обеспечивают получение

ние количественных характеристик динамики их протекания в коридоре трассы трубопроводов;

8) проведена апробация разработанных технологий аэрокосмических исследований природно-технических систем на производственных объектах трубопроводного транспорта Российской Федерации, что обеспечило получение необходимой геопространственной информации о линейных и площадочных объектах в контексте окружающей среды и объектов других инженерных коммуникаций, повысило информированность во время технической эксплуатации МТ и в процессе их реконструкции за счет использования трехмерных цифровых моделей.

Разработанные методы и технологии внедрены в организацию, занимающуюся цифровой аэросъемкой и лазерным сканированием, в том числе объектов нефтегазового сектора.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований рекомендуются к использованию при реконструкции и новом строительстве объектов трубопроводного транспорта на территории Российской Федерации, а также при эксплуатации МТ в сложных природно-климатических условиях при проведении аэрокосмического мониторинга.

Перспективы дальнейших исследований направлены на разработку методов автоматизированного дешифрирования технических объектов и объектов природной среды с использованием трехмерных эталонов природных и технических объектов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БАС	–	беспилотная авиационная система
БПЛА	–	беспилотный летательный аппарат
ВЛС	–	воздушное лазерное сканирование
ВТД	–	внутритрубная диагностика
ГГС	–	государственная геодезическая сеть
ГИ	–	геопространственная информация
ГИМ	–	геоинформационная модель
ГИП	–	геоинформационное пространство
ГИС	–	геоинформационная система
ГНСС	–	глобальные навигационные спутниковые системы
ГСК	–	государственная геодезическая система координат
ДЗЗ	–	дистанционное зондирование Земли
ЛАРН	–	ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов
ЛСК	–	линейная система координат
ЛЧ	–	линейная часть
ММГ	–	многолетнемерзлый грунт
МН	–	магистральный нефтепровод
МТ	–	магистральный трубопровод
НЛС	–	наземное лазерное сканирование
НПС	–	нефтеперекачивающая станция
ОГП	–	опасный геологический процесс
ПВП	–	планово-высотное положение
ППМН	–	подводный переход магистрального нефтепровода
РП	–	резервуарный парк
СГС	–	съемочная геодезическая сеть
СГСС	–	спутниковая геодезическая сеть сгущения
УЗА	–	узел запорной арматуры

УОВ	–	устройство определения высоты
ЦАФС	–	цифровая аэрофотосъемка
ЦКИ	–	цифровое картографическое изображение
ЦММ	–	цифровая модель местности
ЦМР	–	цифровая модель рельефа
ЭВМ	–	электронно-вычислительная машина
ЭГП	–	экзогенный геологический процесс
DEM	–	digital elevation model (цифровая модель рельефа)
GDEM	–	global digital elevation map (глобальная цифровая модель рельефа)
SRTM	–	Shuttle Radar Topography Mission (радиолокационная топографическая миссия шаттла)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Аврунев, Е. И. Принципы формирования единого геопространства территорий / Е. И. Аврунев, А. П. Карпик, В. А. Мелкий. – Текст : непосредственный // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения акад. К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения проф. К. В. Радугина. В 2-х томах. Том 1. – Томск : Издательство ТПУ. – 2019. – С. 428–429.

2 Аковецкий, В. Г. Геоинформационная среда дистанционных методов геоэкологических исследований объектов нефтегазового комплекса / В. Г. Аковецкий, А. В. Афанасьев, Е. Р. Матросова. – Текст : непосредственный // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. – 2019. – № 1 (294). – С. 5–16. – DOI 10.33285/2073-9028-2019-1(294)-5-16.

3 Анализ природных и техногенных особенностей геопространства чрезвычайной ситуации / А. П. Карпик, В. А. Середович, А. В. Дубровский, Э. Л. Ким, О. И. Малыгина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 178–184.

4 Анализ точности исходных данных, используемых при моделировании рельефа и профиля трассы магистральных трубопроводов / Д. В. Долгополов, Е. И. Аврунев, В. А. Мелкий, Д. А. Веретельник, Е. В. Жидиляева. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – № 333 (4). – С. 168–180.

5 Аникаева, А. Д. Оценка потенциала применения беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли / А. Д. Аникаева, Д. А. Мартюшев. – Текст : непосредственный // Недропользование. – 2020. – Т. 20. – № 4. – С. 344–355. – DOI 10.15593/2712-8008/2020.4.4

6 Антипов, И. Т. Оценка точности измерительных трехмерных видеосцен / И. Т. Антипов, Л. К. Зятькова, Т. А. Хлебникова. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2-1. – С. 52–57.

7 Атаев, З. В. Динамика селитебной освоенности ландшафтов формирующейся Махачкалинско-Каспийской агломерации (на основе данных дистанционного зондирования) / З. В. Атаев, В. В. Братков. – Текст : непосредственный // Мониторинг. Наука и технологии. – 2013. – № 4. – С. 11–16.

8 Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / под ред. В. Г. Бондура. – Москва : Научный мир, 2012. – 560 с. – Текст : непосредственный.

9 Баборыкин, М. Ю. Выявление опасных геологических процессов при проведении инженерно-геологических изысканий на основе цифровых моделей рельефа / М. Ю. Баборыкин, Е. В. Жидиляева, А. Г. Погосян. – Текст : непосредственный // Инженерные изыскания. – 2015. – № 2. – С. 30–37.

10 Баборыкин, М. Ю. Дешифрирование и мониторинг физико-геологических процессов и явлений на трубопроводах воздушным лазерным сканером / М. Ю. Баборыкин, А. А. Бурцев. – Текст : непосредственный // Новые идеи в науках о Земле : материалы XIV Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 38–41.

11 Баборыкин, М. Ю. Дешифрирование материалов аэрокосмической съемки для анализа инженерно-геологических условий в общем алгоритме изысканий на линейных объектах / М. Ю. Баборыкин, Е. В. Жидиляева, А. Г. Погосян. – Текст : непосредственный // Инженерные изыскания. – 2014. – № 9–10. – С. 13–21.

12 Баборыкин, М. Ю. Мониторинг опасных геологических процессов на линейных объектах / М. Ю. Баборыкин. – Текст : непосредственный // Инженерные изыскания. – 2013. – № 10–11. – С. 44–55.

13 Баборыкин, М. Ю. Проведение мониторинга опасных геологических процессов на основе результатов воздушного лазерного сканирования. / М. Ю. Баборыкин, А. А. Бурцев, Е. В. Жидиляева. – Текст : непосредственный // Научные исследования – 2017: практическая часть : монография / Г. И. Гумерова [и др.] / под ред. проф. Э. Ш. Шаймиевой. – Москва : РусАльянс Сова, 2017. – С. 151–225.

14 Баборыкин, М. Ю. Сходимость результатов дистанционного метода дешифрирования с полевыми работами на линейном объекте. На примере оползневого участка / М. Ю. Баборыкин. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 7. – С. 161–175.

15 Баборыкин, М. Ю. Факторы геологической опасности при проектировании и эксплуатации трубопроводов и их мониторинг / М. Ю. Баборыкин, Е. В. Жидиляева, А. Г. Погосян. – Текст : непосредственный // Газовая промышленность. – 2015. – № 11 (730). – С. 40–46.

16 Беленко, В. В. Концепция и технология мониторинга земель застраиваемых территорий по материалам космической съемки / В. В. Беленко. – Текст непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2019. – Т. 63. – № 3. – С. 312–323.

17 Беленко, В. В. Мониторинг объектов природно-экологического каркаса застраиваемых территорий по материалам космических съемок / В. В. Беленко. – Текст : непосредственный // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 3. – С. 21-27. – DOI 10.25750/1995-4301-2019-3-021-027. – EDN TQNZHY.

18 Богомолов, Л. А. Дешифрирование аэрокосмоснимков / Л. А. Богомолов. – Москва : Недра, 1976. – 145 с. – Текст : непосредственный.

19 Бойко, Е. С. Современные методы исследования поверхности Земли в инженерно-топографических изысканиях / Е. С. Бойко. – Текст : непосредственный // Инженерные изыскания. – 2009. – № 3. – С. 58–61.

20 Бондур, В. Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса / В. Г. Бондур. – Текст : непосредственный // Исследование Земли из космоса. – 2010. – № 6. – С. 3–17.

21 Бондур, В. Г. Аэрокосмический мониторинг нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса. Реальности и перспективы // Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / В. Г. Бондур ; под редакцией академика В. Г. Бондура. – Москва, 2012. – С. 15–37. – Текст : непосредственный.

22 Бондур, В. Г. Технологии обработки аэрокосмических изображений при мониторинге объектов нефтегазовой отрасли / В. Г. Бондур, В. Е. Воробьев. – Текст : непосредственный // Аэрокосмические технологии в нефтегазовом комплексе : материалы Международной научно-технической конференции. – 2009. – С. 59–60.

23 Брынь, М. Я. Геодезический мониторинг объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта спутниковыми методами / М. Я. Брынь, А. А. Никитчин, Е. Г. Толстов. – Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 4 (29). – С. 58–60.

24 Вахрушева, А. А. Технологии позиционирования в режиме реального времени / А. А. Вахрушева. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 170–177.

25 Вербная, В. П. Оптимальный метод выбора лазерного сканера для различных видов инженерно-технических работ / В. П. Вербная, В. С. Хорошилов, А. В. Комиссаров. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 204–208.

26 Виноградов, Ю. Б. Этюды о селевых потоках / Ю. Б. Виноградов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1980. – 144 с. – Текст : непосредственный

27 Возможности визуального дешифрирования магистральных трубопроводов и объектов инфраструктуры по спутниковым изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения / Д. В. Долгополов, Д. В. Никонов, А. В. Полуянова, В. А. Мелкий // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24. – № 3. – С. 65–81. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-3-65-81.

28 Возможности практического применения технологии автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков в целях мониторинга земель / В. С. Марчуков, В. А. Мелкий, М. А. Игрицов, М. В. Шитикова, Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – № 4. – С. 99–112.

29 Возможности применения космических методов в целях осуществления мониторинга земель крупнейших городов (на примере г. Москвы) / А. М. Кругляк, В. А. Леонтьев, А. П. Сизов, А. В. Антипов, С. Н. Скорохватов, Е. П. Кузина, А. Т. Зверев, В. А. Малинников, В. С. Марчуков, И. А. Миртова. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 2. – С. 89–108.

30 Геоинформационное пространство: реальный мир и дополненная реальность / Д. В. Лисицкий, А. Г. Осипов, В. Н. Савиных, В. Г. Кичеев, Н. Н. Макаренко. – Текст : непосредственный / Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геопространство в социогуманитарном дискурсе» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 31–37.

31 Геокогнитивные методы обеспечения анализа и прогнозирования социально-экономического развития территорий / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий, А. Г. Осипов, В. Н. Савиных. – Текст : непосредственный // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 128–140. – DOI 10.35595/2414-9179-2021-2-27-128-140.

32 Геологические стихии / Б. А. Болт, У. Л. Хорн, Г. А. Макдоналд, Р. Ф. Скотт ; пер. с англ. Б. А. Борисова ; под ред. Н. В. Шебалина. – Москва : Мир, 1978. – 440 с. – Текст : непосредственный.

33 Геологический словарь: в 2-х томах / Под редакцией К. Н. Паффенгольца и др. – Москва : Недра, 1978. – Текст : непосредственный.

34 Геопространственный дискурс опережающего и прорывного мышления / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий, К. С. Байков, А. Г. Осипов, В. Н. Савиных. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 4. – С. 53–67.

35 Геоэкологический анализ влияния трубопроводного транспорта на окружающую среду транзитных регионов / Л. А. Межова, А. М. Луговской, Ю. Н. Гладкий, А. Б. Глазьева, О. Ю. Сушкова, Л. Б. Вампилова, А. А. Соколова, Л. А. Луговская. – Текст : непосредственный // Юг России: экология, развитие. – 2019. – Т. 14. – № 4. – С. 98–110.

36 Геоэкологический мониторинг : учебник / В. Н. Хлыстун, Д. А. Шаповалов, В. В. Вершинин [и др.]. – Москва : ГУЗ, 2020. – 690 с. – ISBN 978-5-6044395-6-2. – Текст : непосредственный.

37 ГКИНП (ГНТА)-02-036–02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – Москва : ЦНИИГАиК, 2002. – 49 с. – Текст : непосредственный.

38 ГКИНП-02-033–82. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 и 1 : 500. – Москва : Недра, 1982. – 98 с. – Текст : непосредственный.

39 Горбачева, А. А. Применение беспилотных летательных аппаратов при выполнении комплексных кадастровых работ / А. А. Горбачева, Е. И. Аврунев. – Текст : непосредственный // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина. В 2-х томах. – 2019. – Т. 1. – С. 436–437.

40 ГОСТ 31385–2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 90 с. – Текст : непосредственный

41 ГОСТ Р 59328–2021. Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования. – Москва : Стандартинформ, 2021. – Текст : непосредственный.

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

43 Гук, А. П. Дистанционное зондирование и мониторинг территорий. Часть 1. Дистанционное зондирование. Теоретические основы и технические средства : учебник / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова. – Текст : непосредственный – Москва : Издательство «КУРС», 2019. – 224 с. – ISBN 978-5-907064-56-0.

44 Гук, А. П. Некоторые проблемы построения реалистических измерительных 3D-моделей по данным дистанционного зондирования / А. П. Гук, М. М. Шляхова. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2015. – № 4 (32). – С. 51–60.

45 Гук, А. П. Разработка методики обновления карт и планов по космическим снимкам высокого разрешения / А. П. Гук, В. В. Прудников, А. В. Павленко. –

Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр. : сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск : СГГА, 2005. Т. 5. – С. 37–42.

46 Гуляев, Ю. П. О корректном подходе к математическому моделированию деформационных процессов инженерных сооружений по геодезическим данным / Ю. П. Гуляев, В. С. Хорошилов, Д. В. Лисицкий. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/с. – С. 22–29.

47 Дворкин, Б. А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли / Б. А. Дворкин, С. А. Дудкин. – Текст : непосредственный // Геомастика. – 2013. – № 2 (19). – С. 18–38.

48 Дешифрирование инфраструктуры магистральных трубопроводов по аэрокосмическим изображениям / Д. В. Долгополов, Д. В. Никонов, В. А. Мелкий, В. В. Братков. – Текст : непосредственный // Мониторинг. Наука и технологии. – 2020. – № 2 (44). – С. 19–25. – DOI 10.25714/MNT.2020.44.003.

49 Диагностирование и определение аномальных зон магистральных трубопроводов на подводных переходах с использованием цифровой модели рельефа / М. Г. Мустафин, Н. С. Павлов, В. А. Вальков, Б. Ю. Васильев. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 33–44. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-33-44.

50 Динамика вулканогенных ландшафтов острова Кунашир (Курильские острова) / В. А. Мелкий, В. В. Братков, А. А. Верхотуров, Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Мониторинг. Наука и технологии. – 2020. – № 2 (44). – С. 31–41. – DOI 10.25714/MNT.2020.44.005.

51 Дистанционное зондирование территории Северного Кавказа / В. В. Братков, Ш. Ш. Заурбеков, П. В. Ключин, А. Н. Марьин. – Текст : непосредственный // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2011. – № 4 (76). – С. 69–80.

52 Долгополов, Д. В. Возможности использования беспилотных авиационных систем для контроля соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям / Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25. – № 4. – С. 85–95. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-85-95.

53 Долгополов, Д. В. Геоинформационное обеспечение безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта / Д. В. Долгополов, В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 12. – С. 52–63. – DOI 10.18799/24131830/2021/12/3028.

54 Долгополов, Д. В. Геопространство трубопроводного транспорта / Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26. – № 1. – С. 76–85. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-1-76-85.

55 Долгополов, Д. В. Использование данных дистанционного зондирования Земли при формировании геоинформационного пространства трубопроводного транспорта / Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25. – № 3. – С. 151–159. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-151-159.

56 Долгополов, Д. В. Использование многозональных космических изображений и ГИС-технологий для анализа лесопирологической обстановки вдоль трасс трубопроводных систем / Д. В. Долгополов, В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 4 : Национальная науч. конф. с междунар. участием «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 1. – С. 12–20. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-4-1-12-20.

57 Долгополов, Д. В. Исследование технологии идентификации космических снимков для обеспечения их совместного использования / Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Мониторинг. Наука и технологии. – 2022. – № 1 (51). – С. 42–46. – DOI 10.25714/MNT.2022.51.006.

58 Долгополов, Д. В. Картографирование растительности Раменского района Московской области с применением технологии автоматизированного дешифрирования космических изображений / Д. В. Долгополов, Ю. М. Черниговский, Е. Ю. Семенова. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 3. – С. 127–141.

59 Долгополов, Д. В. Методика обнаружения водных объектов в зоне трубопроводов при паводках по данным космического мониторинга / Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Мониторинг. Наука и технологии. – 2021. – № 1 (47). – С. 75–83. – DOI 10.25714/MNT.2021.47.009.

60 Долгополов, Д. В. Моделирование объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования / Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 66. – № 5. – С. 87–97.

61 Долгополов, Д. В. Мониторинг опасных геологических процессов при строительстве и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования Земли / Д. В. Долгополов, М. Ю. Баборыкин, В. А. Мелкий. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 4 : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. № 1. – С. 25–32. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-4-1-25-32.

62 Долгополов, Д. В. Применение технологий дистанционного зондирования Земли для обеспечения геотехнического мониторинга и картографирования на трубопроводном транспорте / Д. В. Долгополов, В. А. Мелкий, М. Ю. Баборыкин. – Текст : непосредственный // Региональные геосистемы. – 2022. – Т. 46. – № 3. – С. 339–355. – DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-339-355.

63 Долгополов, Д. В. Теоретические основы информационного обеспечения эксплуатации магистральных трубопроводов аэрокосмической информацией / Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Мониторинг. Наука и технологии. – 2022. – № 2 (52). – С. 60–64. – DOI 10.25714/MNT.2022.52.007.

64 Долгополов, Д. В. Теоретическое обоснование принципов формирования геопространственных моделей трубопроводных систем / Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66. – № 5. – С. 87–97. – DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-5-87-97.

65 Дубровский, А. В. Базовые принципы геоинформационного обеспечения безопасной эксплуатации промышленных объектов / А. В. Дубровский. – Текст : непосредственный // Всероссийская научная Интернет-конференция с международным участием : материалы конференции (Казань, 5 июня 2014 г.). – Казань : ИП Синяев Д. Н., 2014. – С. 14–17.

66 Дубровский, А. В. Формирование техногенных природно-территориальных комплексов нефтегазовых месторождений севера Сибири / А. В. Дубровский. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов аспирантов и молодых ученых Сибирской государственной геодезической академии / под общ. ред. Т. А. Широковой. – Новосибирск : СГГА, 2004. – С. 19–24.

67 Евсеева, Н. С. Экзогенные процессы рельефообразования и четвертичные отложения суши : учебное пособие / Н. С. Евсеева, П. А. Окишев. – Томск : Издательство НТЛ, 2010. – Ч. I. – 300 с. – Текст : непосредственный.

68 Живичин, А. Н. Дешифрирование фотографических изображений / А. Н. Живичин, В. С. Соколов. – Москва : Недра, 1980. – 253 с. – Текст : непосредственный.

69 Заключение экспертной комиссии государственной экологической экспертизы материалов «Обоснования инвестиций в строительство нефтепроводной системы «Восточная Сибирь-Тихий океан». – Москва : Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2004. – 88 с. – Текст : непосредственный.

70 Зверев, А. Т. Инженерная геодинамика / А. Т. Зверев – Москва : МИИГАиК, 2013. – 323 с. – Текст : непосредственный.

71 Зверев, А. Т. Космический геоэкологический мониторинг северных территорий России / А. Т. Зверев, В. А. Малинников. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 6. – С. 68–73.

72 Зятькова, Л. К. Геомониторинг природной среды : монография. В 2 т. Т. 2 / Л. К. Зятькова. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 316 с. – Текст : непосредственный.

73 Избранные проблемы и перспективные вопросы землеустройства, кадастров и развития территорий – 2017 : коллективная монография / В. В. Абросимов,

Е. И. Аврунев, О. М. Антонова и др. / Отв. ред. А. П. Сизов. – Москва : Русайнс. – 2018 – 262 с. – Текст : непосредственный.

74 Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемки ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. – Москва : ЦНИИГАиК, 2002. – Текст : непосредственный.

75 Использование ГИС-технологий и материалов аэрокосмической съемки для анализа дефектов трубы магистральных нефтепроводов / Д. А. Маркелов, В. А. Мелкий, Д. В. Долгополов, А. П. Акользин, О. С. Алешко-Ожевская. – Текст : непосредственный // Практика противокоррозионной защиты. – 2021. – Т. 26. – № 3. – С. 17–21. – DOI 10.31615/j.corros.prot.2021.101.3-2.

76 Использование космических изображений для калибровки системы линейных координат при геопространственном моделировании трубопроводов / К. Г. Барина, Д. В. Долгополов, В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28. – № 1. – С. 70–79. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-70-79.

77 Каленицкий, А. И. О методологическом аспекте геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры при освоении недр Кузбасса / А. И. Каленицкий, А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 20–33. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-20-33.

78 Карпик, А. П. Создание сети референчных станций для обеспечения мониторинга объектов транспорта нефти и нефтепродуктов / А. П. Карпик, К. М. Антонович, О. В. Твердовский // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. – С. 151–161.

79 Карпик, А. П. Совершенствование методики контроля качества спутникового позиционирования при создании геоинформационного пространства территориального образования / А. П. Карпик, Е. И. Аврунев, А. А. Варламов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/с. – С. 182–186.

80 Карпик, А. П. Геодезическая пространственная информационная система для обеспечения устойчивого развития территорий: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.24.01 / Карпик Александр Петрович. – Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск, 2004. – 295 с. – Текст : непосредственный.

81 Карпик, А. П. Информационная система построения инфраструктуры геопрограмственных данных для автомобильных и железных дорог / А. П. Карпик, А. В. Никитин. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 7–15.

82 Карпик, А. П. Концепция геоинформационного пространства / А. П. Карпик. – Текст : непосредственный // Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК. – Москва : МИИГАиК, 2004. – С. 434–438.

83 Карпик, А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография / А. П. Карпик. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 260 с. – ISBN 5-87693-146-2. – Текст : непосредственный.

84 Карпик, А. П. Сущность и система базовых понятий геоинформационного обеспечения территорий / А. П. Карпик. – Текст : непосредственный // Картограф. и геоинформ. обеспечение упр. региональным развитием : материалы VII науч. конф. по темат. картографии, Иркутск, 20–22 ноября. – Иркутск : Издательство Института географии СО РАН. – 2002. – С. 103–106.

85 Карпик, А. П. Управление территорией в геоинформационном дискурсе : монография / А. П. Карпик, А. Г. Осипов, П. П. Мурзинцев. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 280 с. – Текст : непосредственный.

86 Карпик, А. П. Электронное геопрограмство – сущность и концептуальные основы / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 41–46.

87 Картографирование разрывных нарушений по данным аэрокосмических съемок с целью обеспечения безопасности магистральных трубопроводов (на при-

мере участка Чайво – Де-Кастри) / О. В. Купцова, В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров, Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 6. – С. 168–180.

88 Катаев, М. Ю. Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям / М. Ю. Катаев, А. А. Бекеров. – Текст : непосредственный // Доклады ТУСУРа. – 2017. – Т. 20. – № 4. – С. 105–108.

89 Качур, А. Н. Эколого-географические проблемы и ограничения в региональном развитии / А. Н. Качур, П. Я. Бакланов. – Текст : непосредственный // Гео-системы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков в 3 т. Т. 3. Территориальные социально-экономические структуры / Отв. ред. П. Я. Бакланов, М. Т. Романов. – Владивосток : Дальнаука. – 2012. – С. 111–118.

90 Книжников, Ю. Ф. Аэрокосмические методы географических исследований / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, О. В. Тутубалина. – Москва : Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с. – Текст : непосредственный.

91 Кобзева, Е. А. Создание топографических планов масштаба 1 : 2 000 для разработки градостроительной документации средних и малых населенных пунктов / Е. А. Кобзева. – Текст : непосредственный // Геоматика. – 2010. – № 3 (8). – С. 76–79.

92 Ковалевский, Н. П. Возможности мониторинга потенциально опасных участков магистрального углеводородного трубопровода на основе космических данных дистанционного зондирования Земли / Н. П. Ковалевский, Т. В. Томшина. – Текст : непосредственный // Космонавтика и ракетостроение. – 2015. – № 5 (84). – С. 136–140.

93 Комарова, А. Ф. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова / А. Ф. Комарова, И. В. Журавлева, В. М. Яблоков. – Текст : непосредственный // Принципы экологии. – 2016. – № 1. – С. 40–74.

94 Комиссаров, А. В. Геоинформационная модель мониторинга технического состояния трубопроводов нефтегазового комплекса / А. В. Комиссаров, Л. К. Рад-

ченко. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 44–48.

95 Комиссаров, А. В. Обоснование направлений использования данных цифровой съемки при наземном лазерном сканировании / А. В. Комиссаров. – Текст непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 1 (33). – С. 95–100.

96 Комиссаров, А. В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 25.00.34 / Комиссаров Александр Владимирович. – Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск, 2015. – 278 с. – Текст : непосредственный.

97 Корниенко, С. Г. Развитие научных основ аэрокосмического мониторинга и обеспечения безопасности геотехнических объектов при освоении нефтегазовых месторождений Арктики и Субарктики / С. Г. Корниенко, Н. Н. Хренов, П. А. Василенко. – Текст : непосредственный // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. – 2013. – № 1 (7). – С. 15.

98 Коротин, А. С. Оценка точности цифровых моделей рельефа, применяемых для территориальных исследований / А. С. Коротин, Е. В. Попов. – Текст : непосредственный // Графикон'2015 : труды Юбилейной 25-й Международной научной конференции, Протвино, 22–25 сентября 2015 года. – Протвино : Автономная некоммерческая организация «Институт физико-технической информатики», 2015. – С. 102–106.

99 Корсей, С. Г. ГИС-технологии в трубопроводном транспорте / С. Г. Корсей, Н. Б. Дьякова. – Текст : непосредственный // ArcReview. – 2002. – № 2 (21). – С. 17–18.

100 Костюк, А. С. Особенности аэрофотосъемки со сверхлегких беспилотных летательных аппаратов / А. С. Костюк. – Текст : непосредственный // Омский научный вестник. – 2011. – № 1 (104). – С. 236–240.

101 Костюк, А. С. Расчет параметров и оценка качества аэрофотосъемки с БПЛА / А. С. Костюк. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2010. VI Международный науч. конгр.: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 4, ч. 1. – С. 83–87.

102 Кринов, Е. Л. Спектральная отражательная способность природных образований / Е. Л. Кринов. – Москва : Изд. АН СССР, 1947. – 273 с. – Текст : непосредственный.

103 Кронберг, П. Дистанционное изучение Земли: основы и методы дистанционных исследований в геологии / П. Кронберг ; пер. с нем. – Москва : Мир, 1988. – 343 с. – Текст : непосредственный.

104 Крылов, В. М. Дешифрирование аэроснимков : учеб. пособие / В. М. Крылов. – Москва : ВИА, 1979. – 41 с. – Текст : непосредственный.

105 Кузнецов, Т. И. Новые возможности для геотехнического мониторинга трубопроводных систем при использовании ГИС-технологий с 3D визуализацией / Т. И. Кузнецов, Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Трубопроводный транспорт–2017 : тезисы докладов XII Международной учебно-научно-практической конференции. – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2017. – С. 122–123.

106 Кузьмин, С. Б. Опасные геоморфологические процессы и риск природопользования / С. Б. Кузьмин. – Новосибирск : ГЕО, 2009. – 195 с. – Текст : непосредственный.

107 Кукал, З. Природные катастрофы / З. Кукал ; перевод с чешского К. И. Никоновой ; предисл. и коммент. А. А. Никонова. – Москва : Знание, 1985. – 240 с. – Текст : непосредственный.

108 Куметаитене, А. Анализ точности первоначальных данных, используемых в моделировании рельефа / А. Куметаитене. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр. : сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск : СГГА, 2005. Т. 1, ч. 1. – С. 108–114.

109 Лабутина, И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков : учебное пособие для студентов вузов / И. А. Лабутина. – Москва : АспектПресс, 2004. – 184 с. – Текст : непосредственный.

110 Лисин, Ю. В. Мониторинг магистральных нефтепроводов в сложных геологических условиях / Ю. В. Лисин, А. А. Александров. – Текст : непосредственный // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – № 2 (10). – С. 22–27.

111 Лисин, Ю. В. Создание системы координатно-временного обеспечения магистральных нефтепроводов / Ю. В. Лисин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Машиностроение. – 2013. – № 2. – С. 69–75.

112 Лисицкий, Д. В. Изменение роли картографических изображений в процессе формирования единого электронного геопространства / Д. В. Лисицкий, С. Ю. Кацко. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 156–161.

113 Лисицкий, Д. В. Основные принципы цифрового картографирования местности / Д. В. Лисицкий. – Москва : Недра, 1988. – 264 с. – Текст : непосредственный.

114 Лисицкий, Д. В. Перспективы развития картографии: от системы «Цифровая Земля» к системе виртуальной геореальности / Д. В. Лисицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 8–16.

115 Лисицкий, Д. В. Пользовательский сегмент единого территориального геоинформационного пространства / Д. В. Лисицкий, С. Ю. Кацко. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 89–100.

116 Лисицкий, Д. В. Теоретические основы и особенности мультимедийной картографии / Д. В. Лисицкий, Е. В. Комиссарова, А. А. Колесников. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 72–87.

117 Мажитова, Г. Совершенствование методики крупномасштабного агроландшафтного картографирования на основе применения беспилотных летательных аппаратов / Г. Мажитова, С. Пашков, С. Крыцкий. – Текст : непосредственный // Региональные геосистемы. – 2020. – № 44 (1). – С. 64–74. – DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-1-64-74.

118 Мазур, И. И. Опасные природные процессы. Вводный курс : учебник / И. И. Мазур, О. П. Иванов . – Москва : Экономика. – 2004. – 702 с. – Текст : непосредственный.

119 Макаров, В. И. Энергетика экзогенных геологических процессов / В. И. Макаров, В. В. Кюнтцель, Ю. Н. Авсюк. – Текст : непосредственный // Геоэкология. – 1995. – № 2. – С. 3–26.

120 Марахтанов, В. П. Технология геотехнического мониторинга магистральных газопроводов на территории криолитозоны Западной Сибири / В. П. Марахтанов, А. Г. Топчиев. – Текст : непосредственный // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 9. – С. 131–136.

121 Мелкий, В. А. Анализ геоэкологического состояния пихтово-еловых лесных формаций по данным дистанционного зондирования / В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров, Р. Н. Сабилов. – Текст : непосредственный // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : материалы III Национальной научно-практической конференции (Новосибирск, СГУГиТ, 27–29 ноября 2019 г.). Ч. 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – С. 184–191.

122 Мелкий, В. А. Возможности использования космических снимков для наблюдения затоплений на трубопроводах / В. А. Мелкий, Д. В. Долгополов, А. А. Верхотуров. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 4 : Национальная науч. конф. с междунар. участием «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 1. – С. 21–28. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-4-1-21-28.

123 Мелкий, В. А. Теоретические основы и принципы построения единой системы мониторинга природной среды и техносферы / В. А. Мелкий. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2002. – № 2. – С. 89–97.

124 Методология геоэкологической стандартизации территории как основа геоэкологической безопасности / Д. А. Маркелов, А. В. Маркелов, Н. Я. Минеева, М. А. Григорьева, А. П. Акользин, Д. А. Шаповалов, А. О. Хуторова. – Текст : непосредственный // Проблемы региональной экологии. – 2017. – № 3. – С. 16–25.

125 Михайлов, А. П. Фотограмметрия / А. П. Михайлов, А. Г. Чибуничев ; под общ. ред. А. Г. Чибуничева. – Москва : Издательство МИИГАИК, 2016. – 292 с. – Текст : непосредственный.

126 Моги, К. Предсказание землетрясений / К. Моги ; пер. с англ. Б. А. Борисова ; под ред. Л. П. Винника. – Москва : Мир, 1988. – 382 с. – Текст : непосредственный.

127 Мониторинг водных объектов дистанционными методами / М. Г. Мустафин, В. А. Вальков, Н. С. Павлов [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 67–75. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-67-75.

128 Мониторинг изменения состояния растительного покрова на участке трассы трубопровода проекта «Сахалин-2» по данным космических съемок / А. А. Верхотуров, В. А. Мелкий, Д. В. Долгополов, Д. В. Лисицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27. – № 4. – С. 45–53. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-45-53.

129 Мониторинг лесопирологической обстановки по данным космических съемок / В. А. Мелкий, В. А. Малинников, К. С. Меньшиков, Д. В. Долгополов, П. Ю. Цареградский, Ю. М. Черниговский. – Текст : непосредственный // Интеграция фундаментальной науки и высшего образования по проблемам ускоренного воспроизводства, использования и модификации древесины: материалы Международной научно-практической конференции (Воронеж, 13–16 июня 2000 г.) : в 2-х т. – Воронеж : ВГЛТА, 2000. – Т. 2. – С. 23–27.

130 Мониторинг переноса придонного потока осадков в прибрежно-морской зоне шельфа для выявления основных параметров моделей состояния экосистем / В. В. Ильин, В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров, А. А. Гальцев, О. М. Зарипов, Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 1. – С. 105–115.

131 Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами / В. А. Малинников [и др.]. – Москва : МИИГАиК, 2009. – 140 с. – ISBN 978-5-91188-015-6. – Текст : непосредственный.

132 Мягков, С. М. География природного риска / С. М. Мягков. – Москва : Издательство МГУ, 1995. – 224 с. – Текст : непосредственный.

133 Мячина, К. В. Роль нефтедобычи в развитии эрозионных процессов в сельскохозяйственных ландшафтах степной зоны / К. В. Мячина, С. А. Дубровская, Р. В. Ряхов. – Текст : непосредственный // Региональные геосистемы. – 2020. – № 44 (3). – С. 283–294. – DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-283-294.

134 Наземное лазерное сканирование : монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова ; Сибирская государственная геодезическая академия. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с. – ISBN 978-5-87693-336-2. – Текст : непосредственный.

135 Нефтяное загрязнение ландшафтов Чечни: распознавание на местности – «Технологии с одного взгляда» / Д. А. Маркелов, А. В. Маркелов, Н. Я. Минеева, А. П. Акользин, Б. И. Кочуров, Д. А. Шаповалов, А. О. Хуторова, М. А. Григорьева, Е. А. Чукмасова. – Текст : непосредственный // Экология урбанизированных территорий. – 2018. – № 2. – С. 52–60.

136 Никитин, В. Н. Опыт построения ортофотоплана по данным крупномасштабной аэрофотосъемки, выполненной с использованием неметрической цифровой камеры / В. Н. Никитин, А. В. Семенцов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 12–17.

137 Новаковский, Б. А. Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа : учебное пособие / Б. А. Новаковский, Р. В. Пермяков. – Москва : МИИГАиК. – 2019. – 175 с.

138 Об утверждении Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Феде-

рации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации, а также о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации : постановление Правительства РФ от 31.12.2020 № 2451. – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400070332/> (дата обращения 07 февраля 2021 г.). – Текст : электронный.

139 ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3–02 Регламент технической эксплуатации переходов магистральных нефтепроводов через водные преграды. – Москва : ОАО «АК «Транснефть»», 2003. – 133 с. – Текст : непосредственный.

140 ОР-75.180.00-КТН-039–08 с изм. 1 Требования к технологическим схемам нефтеперекачивающих станций, профилям и схемам линейной части магистральных нефтепроводов ОАО «АК «Транснефть»». – Москва : ОАО «АК «Транснефть»», 2012. – 861 с.

141 Орлянкин, В. Н. Использование матриц высот SRTM в предварительных расчетах и картографировании глубин потенциального паводкового затопления речных пойм / В. Н. Орлянкин, А. Р. Алешина. – Текст : непосредственный // Исследование Земли из космоса. – 2019. – № 5. – С. 72–81. – DOI 10.31857/S0205-96142019572-81.

142 Оскорбин, Н. М. Создание полигона для оценки точности имеющихся растровых карт и космических снимков высокого разрешения / Н. М. Оскорбин, С. И. Суханов. – Текст : непосредственный // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – № 1-1(69). – С. 108–112.

143 Особенности выполнения деформационного мониторинга инженерных сооружений в условиях вечной мерзлоты / Г. А. Уставич, Е. И. Аврунев, В. Г. Сальников, В. К. Попов. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 4. – С. 97–109.

144 Оценка динамики развития экзогенных геологических процессов по данным аэровизуальных обследований трубопроводных систем / Е. М. Макарычева,

А. Н. Угаров, Н. С. Малаева. – Текст : непосредственный // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2013. – № 1 (90). – С. 117–124.

145 Оценка точности 3D-моделей, построенных с использованием беспилотных авиационных систем / Е. И. Аврунев, Х. К. Ямбаев, О. А. Оприцова, А. В. Чернов, Д. В. Гоголев. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 211–228.

146 Парк внутритрубных инспекционных приборов // Сайт АО «Транснефть – Диаскан» . – URL: <https://diascan.transneft.ru/klientam/vnytritrybnaya-diagnostika/park-vnytritrybnyh-inspekcionnih-priborov> (дата обращения 15.05.2021). – Текст : электронный.

147 Патент № 173296 Российская Федерация, МПК F17D 5/00 (2006.01). Устройство определения планово-высотного положения трубопровода / М. Ю. Баборыкин ; заявитель и патентообладатель М. Ю. Баборыкин. – 2017108820 ; заявл. 16.03.2017 ; опубл. 21.08.2017. – Текст : непосредственный.

148 Петрусеви́ч, М. Н. Аэрометоды при геологических исследованиях / М. Н. Петрусеви́ч ; под ред. А. А. Богданова. – Москва : Госгеолтехиздат, 1962. – 406 с. – Текст : непосредственный.

149 Правила охраны магистральных трубопроводов / Ответственные составители-разработчики: Ю. А. Дадонов, С. Н. Мокроусов. – Текст : непосредственный // Нормативные документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в нефтяной и газовой промышленности. – Москва : Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. – Выпуск 14. – 8 с.

150 Применение технологии воздушного лазерного сканирования при проведении геотехнического мониторинга на трубопроводном транспорте / Д. В. Долгополов, М. Ю. Баборыкин, Е. В. Жидиляева, В. А. Мелкий. – Текст : непосредственный // Мониторинг. Наука и технологии. – 2022. – № 2 (52) – С. 25–34. – DOI 10.25714/MNT.2022.52.003.

151 Прогнозирование взрывных вулканических извержений по данным дистанционного зондирования / В. А. Мелкий, Ю. М. Черниговский, В. С. Марчуков, Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1998. – № 3. – С. 123–129.

152 Прогнозирование поверхностного стока половодий и дождевых паводков / О. В. Зенкин, В. А. Мелкий, В. А. Малинников, Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 3. – С. 79–84.

153 Пространственная оценка современных пожарных режимов лесных экосистем России / А. С. Плотникова, Д. В. Ершов, А. О. Харитонова, П. П. Шуляк, С. А. Барталев, Ф. В. Стыщенко. – Текст : непосредственный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16. – № 5. – С. 228–240.

154 Пьянков, С. В. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений : монография / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов. – Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет. – 2017. – 148 с. – Текст : непосредственный.

155 Разработка методик автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков. Дешифровочные признаки изображений объектов на многоспектральных космических снимках / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова, Е. П. Хлебникова, М. А. Алтынцев, С. А. Арбузов, А. С. Гордиенко, А. А. Гук, Д. П. Симонов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 31–40.

156 Разработка методики оперативного мониторинга и обновления карт и планов по космическим снимкам высокого разрешения / А. П. Гук, В. В. Прудников, Л. Г. Евстратова, А. В. Павленко. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2006. – № 11. – С. 177–183.

157 Распутин, А. Н. Геоинформационная система оценки влияния инженерно-геологических факторов на возникновение коррозионных дефектов газопроводов ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» : диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук : 25.00.08 / Распутин Антон Николаевич. – Екатеринбург, 2011. – 142 с.

158 РД-03-606–03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. – Москва : АО «НТЦ «Промышленная безопасность»», 2003. – 47 с. – Текст : непосредственный.

159 РД-13.020.40-КТН-025–14. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Требования к разработке плана по предупреждению и ликвидации разливов нефти (нефтепродуктов) на переходах МН (МНПП) через водные преграды. – Москва : ПАО «Транснефть». – 2014. – 15 с. – Текст : непосредственный.

160 РД-153-39.4-056–00. Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов. – Москва : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – Текст : непосредственный.

161 РД-23.040.00-КТН-0034–20. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Геотехнический мониторинг. Общие положения. – Москва : ПАО «Транснефть», 2016. – 248 с. – Текст : непосредственный.

162 Региональная оптимизация параметров прогнозной модели природных пожаров и оперативное моделирование динамики их развития с использованием данных спутниковых наблюдений / С. А. Хвостиков, И. В. Балашов, С. А. Барталев, В. Ю. Ефремов, Е. А. Лупян. – Текст : непосредственный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 3. – С. 91–100.

163 Рис, У. Г. Основы дистанционного зондирования / У. Г. Рис. – Москва : Техносфера, 2006. – 336 с. – Текст : непосредственный.

164 Ритман, А. Вулканы и их деятельность / А. Ритман ; пер. с нем. Л. Г. Кваша ; под ред. В. И. Влодавца. – Москва : Мир, 1964. – 440 с. – Текст : непосредственный.

165 Романовский, Н. Н. Основы криогенеза литосферы / Н. Н. Романовский. – Москва : МГУ, 1993. – 336 с. – Текст : непосредственный.

166 Романовский, Р. В. Применение методов компьютерного моделирования зон затопления при максимальных расчетных уровнях воды для решения проект-

ных задач при рекультивации нарушенных земель, а также проектировании зданий и сооружений вблизи водных объектов / Р. В. Романовский. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 2. – С. 186–201.

167 Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional Edition, версия 1.5. – URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf. – Текст : электронный.

168 Рыльский, И. А. Лазерное сканирование и космическая съемка – соревнование или партнерство / И. А. Рыльский. – Текст : непосредственный // Геоматика. – 2016. – № 1 (30). – С. 10–18.

169 Рычагов, Г. И. Геоморфология : учебник / Г. И. Рычагов. – Москва : Юрайт, 2018. – 396 с. – Текст : непосредственный.

170 Савиных, В. П. Аэрокосмическая фотосъемка : учебник для вузов / В. П. Савиных, А. С. Кучко, А. Ф. Стеценко. – Москва : Картгеоцентр-Геодезиздат, 1997. – 378 с. – Текст : непосредственный.

171 Савиных, В. П. Геоданные как системный информационный ресурс / В. П. Савиных, В. Я. Цветков. – Текст : непосредственный // Вестник Российской академии наук. – 2014. – Т. 84. – № 9. – С. 826–829.

172 Савиных, В. П. Информационные технологии в системах экологического мониторинга / В. П. Савиных, В. Ф. Крапивин, И. И. Потапов. – Москва : ООО «Геодезкартиздат». 2007. – 392 с. – Текст : непосредственный.

173 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017661876 Российская Федерация. Модель данных для расчета ореолов оттаивания с использованием программно-расчетного модуля: № 2017618891 : заявл. 01.09.2017 : опубл. 24.10.2017 / В. И. Суриков, Е. А. Покровская, Т. И. Кузнецов, Д. В. Долгополов, А. И. Барышев, Д. Ю. Федоренко, А. А. Захаров, С. Н. Чужин, П. А. Ревель-Муроз ; заявитель Публичное акционерное общество «Транснефть» (ПАО «Транснефть»), Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»). – Текст : непосредственный.

174 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017662021 Российская Федерация. Модель данных для расчетов планово-высотного положения с использованием программно-расчетного модуля: № 2017618892: заявл. 01.09.2017 : опубл. 26.10.2017 / В. И. Суриков, Э. Р. Ибрагимов, Т. И. Кузнецов, Д. В. Долгополов, А. А. Захаров, С. Н. Чужинов, П. А. Ревель-Муроз, А. И. Барышев, Д. Ю. Федоренко ; заявитель Публичное акционерное общество «Транснефть» (ПАО «Транснефть»), Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»). – Текст : непосредственный.

175 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017662894 Российская Федерация. Архив электронных копий проектной и исполнительной документации объектов МН «Куюмба – Тайшет» : № 2017619837 : заявл. 03.10.2017 : опубл. 20.11.2017 / В. И. Суриков, Д. В. Долгополов, Д. Ю. Федоренко, Э. Р. Ибрагимов, А. В. Тамбовцев, А. А. Кононов, А. А. Пешков, А. А. Захаров, С. Н. Чужинов, П. А. Ревель-Муроз; заявитель Публичное акционерное общество «Транснефть» (ПАО «Транснефть»), Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»), Общество с ограниченной ответственностью «Транснефть - Восток» (ООО «Транснефть – Восток»). – Текст : непосредственный.

176 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662888 Российская Федерация. Технологическая цифровая платформа мониторинга природно-технологической среды : № 2022662580 : заявл. 07.07.2022 : опубл. 07.07.2022 / Д. В. Долгополов, Р. А. Камашев, Д. С. Назаров, М. С. Удовиченко ; заявитель Закрытое акционерное общество «Ай Ко». – Текст : непосредственный.

177 Севастьянов, Н. Н. Предложения по развитию корпоративной геоинформационной системы ПАО «Газпром» на базе использования аэрокосмической информации / Н. Н. Севастьянов. – Текст : непосредственный // Газовая промышленность. – 2018. – № 7 (771). – С. 18–25.

178 Середович, В. А. Состояние, проблемы и перспективы применения технологии наземного лазерного сканирования / В. А. Середович, Д. В. Комиссаров. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2005. Т. 5. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия: сб. материалов науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2005», 25–29 апреля 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 193–197.

179 Сертификация как инструмент повышения качества цифровой картографической продукции на примере работы испытательной лаборатории «Вектор» (МИИГАиК) / Ю. М. Черниговский, Д. В. Долгополов, А. В. Даргель, М. И. Макарына. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 70–74.

180 Скрыпицына, Т. Н. Сравнительная оценка точности квази-глобальных моделей рельефа AW3D30 DSM, ASTER GDEM и SRTM1 DEM / Т. Н. Скрыпицына, И. В. Флоринский, О. С. Лущикова. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 5. – С. 86–90.

181 Соловицкий, А. Н. Геоинформационное обеспечение проектирования геодезического мониторинга деформаций земной коры в Кузбассе / А. Н. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие» : Международная научная конференция «Высокие технологии и инновации в науке»; Всероссийская научно-практическая конференция «Национальная безопасность России: актуальные аспекты», Санкт-Петербург, 28–30 марта 2019 года / Выпускающий редактор Ю. Ф. Эльзесер ; Ответственный за выпуск С. В. Викторенкова. Часть 1. – Санкт-Петербург : ГНИИ «Нацразвитие», 2019. – С. 44–50. – Текст : непосредственный.

182 СП 22.13330. Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83. – Москва : Минстрой России, Стандартинформ, 2017. – 220 с. – Текст : непосредственный.

183 СП 25.13330. Свод правил. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. – Москва : Минстрой России, Стандартинформ, 2021. – 48 с. – Текст : непосредственный.

184 СП 305.1325800. Свод правил. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. – Москва : Минстрой России, Стандартинформ, 2018. – 105 с. – Текст : непосредственный.

185 СП 317.1325800.2017. Свод правил. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 85 с. – Текст : непосредственный.

186 СП 365.1325800.2017. Свод правил. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для хранения нефтепродуктов. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 72 с. – Текст : непосредственный.

187 Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS / С. А. Барталев, В. А. Егоров, Д. В. Ершов [и др.]. – Текст : непосредственный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8. – № 4. – С. 285–302.

188 Стратегия устойчивого развития регионов и щадящего природопользования: Научные основы, технологии, геоэкологический стандарт / М. А. Григорьева, Д. А. Маркелов, Д. А. Шаповалов, Н. Я. Минеева, А. П. Акользин, А. О. Хуторова, Е. А. Чукмасова, Г. Нямдаваа. – Текст : непосредственный // Устойчивое развитие в Восточной Азии: актуальные эколого-географические и социально-экономические проблемы : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию высшего географического образования и 60-летию фундаментальной географической науки в Бурятии. – 2018. – С. 56–58.

189 «Стройтрансгаз» обустроит инфраструктуру Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения // Сайт ООО «Агентство Бизнес Новостей». – URL: <https://abnews.ru/tag/zao-strojtransgaz/> (дата обращения 25 января 2021 г.). – Текст : непосредственный.

190 Тайманова, Г. К. Беспилотные летательные аппараты для мониторинга нефтепроводов / Г. К. Тайманова, Р. Е. Пак. – Текст : непосредственный // International Scientific and Practical Conference World science. – 2018. – Vol. 1, № 1 (29). – P. 42–43.

191 Технологические аспекты построения 3D-модели инженерных сооружений в городах арктического региона РФ / Е. И. Аврунев, А. В. Чернов, А. В. Дубровский, А. В. Комиссаров, Е. Ю. Пасечник. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 7. – С. 131–137.

192 Технологические решения в области обеспечения геопространственной информации о магистральных трубопроводах и объектах их инфраструктуры / Е. И. Аврунев, Г. А. Уставич, А. О. Грекова, А. В. Никонов, В. А. Мелкий, Д. В. Долгополов. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 7. – С. 188–201. – DOI 10.18799/24131830/2020/7/2729.

193 Торсунова, О. Ф. Использование данных космической съемки сверхвысокого разрешения для решения задач территориального зонирования / О. Ф. Торсунова. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 219–230.

194 Торсунова, О. Ф. Исследование возможности применения космических снимков для определения границ зон с особыми условиями использования территорий / О. Ф. Торсунова. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 180–193.

195 Транснефть усилила защиту объектов нефтепровода ВСТО-2 из-за паводков. – URL: <https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/477827-transneft-usilila-zashchitu-obektov-nefteprovoda-vsto-2-iz-za-pavodkov/> (заглавие с экрана). – Текст : электронный.

196 Трубина, Л. К. Методические подходы к созданию 3D-моделей для исследования экологического состояния территорий / Л. К. Трубина, Т. А. Хлебникова, О. Н. Николаева // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 199–205.

197 Уставич, Г. А. Новый вид картографических произведений на районы субъектов Российской Федерации для широкого круга потребителей / Г. А. Уставич, Е. С. Утробина. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2–1. – С. 76–80.

198 Хлебникова, Т. А. Разработка технологической схемы сбора и обработки данных аэрофотосъемки с использованием беспилотных авиационных систем для моделирования геопространства / Т. А. Хлебникова, Х. К. Ямбаев, О. А. Оприцова. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25. – № 1. – С. 106–118.

199 Хлебникова, Т. А. Экспериментальные исследования построения и использования плотной цифровой модели по материалам беспилотной авиационной системы / Т. А. Хлебникова, О. А. Оприцова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 4 : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 2. – С. 213–220.

200 Хлебникова, Т. А. Экспериментальные исследования точности построения фотограмметрической модели по материалам БПЛА / Т. А. Хлебникова, О. А. Оприцова, С. М. Аубакирова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 1. – С. 32–37.

201 Хренов, Н. Н. Аэрокосмические методы в комплексе исследований по оценке технического состояния северных трубопроводов / Н. Н. Хренов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 3. – С. 55–59.

202 Хренов, Н. Н. Диагностика состояния газопроводных геотехнических систем на основе сочетания дистанционного зондирования и наземных методов / Н. Н. Хренов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 36–40.

203 Хренов, Н. Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок / Н. Н. Хренов. – Москва : Газойл-пресс, 2003. – 352 с.

204 Хренов, Н. Н. Оценка состояния газопровода на Ямале в период строительства / Н. Н. Хренов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 4. – С. 67–70.

205 Цветков, В. Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг / В. Я. Цветков. – Текст : непосредственный // Науки о Земле. – 2012. – № 4. – С. 54–58.

206 Чабан, Л. Н. Автоматизированная обработка аэрокосмической информации при картографировании геопространственных данных : учебное пособие / Л. Н. Чабан. – Москва : МИИГАиК, 2013. – 96 с. – Текст : непосредственный.

207 Чандра, А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А. М. Чандра, С. К. Гош. – Москва : Техносфера, 2008. – 312 с. – Текст : непосредственный.

208 Черниговский, Ю. М. Геоинформационные системы для инженерных сетей водоснабжения и водоотведения / Ю. М. Черниговский, Д. В. Долгополов, А. Г. Ахундов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 1. – С. 85–88.

209 Шагаев, М. П. Оценка возможностей использования данных прибора MODIS для мониторинга паводковой обстановки на примере паводка на реке Чулым весной 2014 года / М. П. Шагаев, Е. Н. Кулик. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – С. 32–37.

210 Шарафутдинова, А. А. Методика проектирования и построения геодезической сети при наземном лазерном сканировании крупных промышленных объектов / А. А. Шарафутдинова, М. Я. Брынть. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 72–85. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-72-85.

211 Шевченко, Г. Г. Применение наземного лазерного сканирования в строительстве и BIM технологиях / Г. Г. Шевченко, Д. А. Гура, Г. Т. Акопян. – Текст : непосредственный // Научные труды КубГТУ. – 2018. – № 2. – С. 251–260.

212 Широкова, Т. А. Исследование точности визирования на точки стереомодели, построенной по космическим снимкам сверхвысокого разрешения, при различном увеличении изображений / Т. А. Широкова, А. Ю. Чермошенцев. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2013. – № 3 (23). – С. 47–52.

213 Широкова, Т. А. Методика создания ортофотопланов с применением данных воздушного лазерного сканирования / Т. А. Широкова, А. В. Антипов. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2010. – № 2 (13). – С. 24–31.

214 Широкова, Т. А. Методика создания планов крупного масштаба по данным аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования / Т. А. Широкова, А. В. Антипов. – Текст непосредственный // Вестник СГГА. – 2012. – № 3 (19). – С. 43–51.

215 Широкова, Т. А. Методика создания трехмерных реалистичных сцен городских территорий по данным воздушного лазерного сканирования / Т. А. Широкова, А. В. Антипов. – Текст непосредственный // Геодезия и картография, 2013. – № 12. – С. 21–26.

216 Шоломицкий, А. А. Применение лазерного сканирования для мониторинга большепролетных сооружений / А. А. Шоломицкий, Е. К. Лагутина, Е. Л. Соболева. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23. – № 2. – С. 43–57.

217 Щербаков, В. В. Цифровые модели пути – основа геодезического обеспечения проектирования, строительства (ремонта) и эксплуатации железных дорог / В. В. Щербаков, О. В. Ковалева, И. В. Щербаков. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2016. – № 3. – С. 12–16.

218 Эйби, Дж. А. Землетрясения / Дж. А. Эйби ; пер. с англ. Б. Г. Слепцова, Н. М. Хайме ; под ред. И. С. Комарова. – Москва : Недра, 1982. – 264 с. – Текст : непосредственный.

219 Экологический мониторинг и мероприятия по снижению уровня возможного негативного воздействия трубопроводов (проект «Сахалин-2») на окружающую среду острова Сахалин / В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров, Д. В. Долгополов,

А. Н. Бурькин, В. В. Ильин, А. А. Гальцев, О. М. Зарипов, Д. Г. Новиков, Я. П. Белянина, И. В. Еременко. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 4. – С. 101–108.

220 Active Optical Sensors (LASERS). / A. Abellán, M. Jaboyedoff, C. Michoud, M. H. Derron, T. Oppikofer ; edited in 2010 by C. Michoud, A. Abellán, M. H. Derron, M. Jaboyedoff // Review of Techniques for Landslide Detection, Fast Characterization, Rapid Mapping and Long-Term Monitoring. – URL: <http://www.safelandfp7.eu>. – Текст : электронный

221 Advances in the application of the SWAT model for water resources management / R Jayakrishnan., R. Srinivasan, C. Santhi. & J. G. Arnold. – Текст : непосредственный // Hydrological Processes. – 2005. – Vol. 19 (3). – P. 749–762.

222 An assessment of the SRTM topographic products / E. Rodriguez, C. S. Morris, J. E. Belz, E. Chapin, J. Martin, W. Daffer, S. Hensley. – Текст : непосредственный // Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California. – 2005. – 143 p.

223 An effective modified water extraction method for Landsat-8 OLI imagery of mountainous plateau regions / H. Gao, L. Wang, L. Jing, J. Xu. – Текст : непосредственный // Earth and Environmental Science. – 2016. – 34. – DOI 10.1088/1755-1315/34/1/012010.

224 ArcticDEM. – URL: <https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/>. – Текст : электронный.

225 Arun, S. B. Recent Advances in Health Monitoring and Assessment of Inservice Oil and Gas Buried Pipelines / S. B. Arun, K. Kesavan, S. Parivallal. – Текст : непосредственный // Journal of the Institution of Engineers (India): Series A. – 2018. – V. 99 – P. 729–740. – DOI 10.1007/s40030-018-0316-5.

226 Assistant Design System of Urban Underground Pipeline Based on 3D Virtual City / J. He, Y. Zou¹, Y. Ma, G. Chen. – Текст : непосредственный // Procedia Environmental Sciences – 2011. – Vol. 11. – P. 1352–1358.

227 Automated Water Extraction Index: A New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery / G. L. Feyisa, H. Meilby, R. Fensholt, S. R. Proud. – Текст :

непосредственный // *Remote Sensing of Environment*. – 2014. – 140. – P. 23–35. – DOI 10.1016/j.rse.2013.08.029.

228 Balogun, L. F. Geovisualization of Subsurface Pipelines: A 3D Approach / L. F. Balogun, A. N. Matori, D. U. Lawal. – Текст : непосредственный // *Modern Appl. Sci.* – 2011. – Vol. 5. – № 4. – P. 158–165.

229 Castillo, F. *Managing Information Technology* / F. Castillo. – Luxembourg: Springer. – 2016. – 246 p. – Текст : непосредственный.

230 Chen, C. Accuracy Assessment and Correction of SRTM DEM Using ICE-Sat/GLAS Data under Data Coregistration / C. Chen, S. Yang, Y. Li. – Текст : непосредственный // *Remote Sensing*. – 2020. – Vol. 12. – № 20. – P. 3435. – DOI 10.3390/rs12203435.

231 Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery / F. Sun, W. Sun, J. Chen, P. Gong. – Текст : непосредственный // *International Journal of Remote Sensing*. – 2012. – 33 (21). – P. 6854–6875.

232 Comparison of SRTM-V4.1 and ASTER-V2.1 for Accurate Topographic Attributes and Hydrologic Indices Extraction in Flooded Areas / A. Bannari, G. Kadhem, A. El-Battay, N. Hameid. – Текст : непосредственный // *Journal of Earth Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 8. – № 1. – P. 8–30.

233 Current status of Advanced Land Observing Satellite-3 (ALOS-3) / T. Imai, H. Katayama, H. Imai, Y. Hatooka, S. Suzuki, Y. Osawa. – Текст : непосредственный // *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*. France, Toulouse, Sept. 20–23. – 2010. – Vol. 7826. – Paper 7826-11. – DOI 10.1117/12.866289.

234 Dalitz, C. Iterative Hough transform for line detection in 3D point clouds / C. Dalitz, T. Schramke, M. Jeltsch. – Текст : непосредственный // *Image Processing On Line*. – 2017. – № 7. – P. 184–196.

235 Dingman, L. *Physical hydrology*. Third edition / L. Dingman. – Long Grove, Illinois: Waveland press, Inc. – 2015. – 643 с. – Текст : непосредственный.

236 Drone-Based Fluorescence Lidar Systems for Vegetation and Marine Environment Monitoring / Z. Duan, Y. Li, X. Wang, J. Wang, M. Brydegaard, G. Zhao, S. Svanberg. – Текст : непосредственный // *EPJ Web of Conferences*. – 2020.

237 Evaluation of Recently Released Open Global Digital Elevation Models of Hubei, China / Z. Hu., J. Peng, Y. Hou, J. Shan. – Текст : непосредственный // *Remote Sensing*. – 2017. – Vol. 9 (3). – 262 p. – DOI 10.3390/rs9030262.

238 Farr, T. G. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data / T. G. Farr, M. Kobrick. – Текст : непосредственный // *Amer. Geophys. Union Eos*. – 2000. – V. 81. – P. 583–585.

239 Geotechnical Monitoring of Pipelines Located in Difficult Climatic Conditions / E. M. Makarycheva, V. I. Surikov, T. I. Kuznetsov, D. V. Dolgopolov. – Текст : непосредственный // 13 Pipeline Technology Conference, Berlin, 12–14 March 2018. – Berlin : Estrel Convention Center, 2018. – P. 14–20.

240 Gill, J. C. Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework / J. C. Gill, B. D. Malamud. – Текст : непосредственный // *Earth-Science Reviews*. – 2017. – V. 166. – P. 246–269. – DOI 10.1016/j.earsci-rev.2017.01.002.

241 Global Relationships Between River Width, Slope, Catchment Area, Meander Wavelength, Sinuosity, and Discharge / R. P. d. M. Frasson, T. M. Pavelsky, M. A. Fonstad, M. T. Durand, G. H. Allen, G. Schumann, C. Lion, R. E. Beighley, X. Yang. – Текст : непосредственный // *Geophysical Research Letters*. – 2019. – V. 46. – № 6. – P. 3252–3262.

242 High-quality seamless DEM generation blending SRTM-1, ASTER GDEM v2 and ICESat / GLAS observations / L. Yue, H. Shen, L. Zhang, X. Zheng, F. Zhang, Q. Yuan. – Текст : непосредственный // *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*. – 2017. – Vol. 123. – P. 20–34. – DOI 10.1016/j.isprsjprs.2016.11.002.

243 Implications of Simulating Global Digital Elevation Models for Flood Inundation Studies / L. Hawker, J. Rougier, J. C. Neal, P. Bates, L. Archer, D. Yamazaki. – Текст : непосредственный // *Water Resources Research*. – 2018. – V. 54. – Iss. 10. – P. 7910–7928. – DOI 10.1029/2018WR023279.

244 Investigation on the use of geomorphic approaches for the delineation of flood prone areas / S. Manfreda, F. Nardi, C. Samela, S. Grimaldi, A. C. Taramasso, G. Roth,

A. Sole. – Текст : непосредственный // Journal Hydrology. – 2014. – Vol. 517. – P. 863–876. – DOI 10.1016/j.jhydrol.2014.06.009.

245 Ji, L. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index / L. Ji, L. Zhang, B. Wylie. – Текст : непосредственный // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 2009. – 75 (11). – P. 1307–1317.

246 Kirby, E. Expression of active tectonics in erosional landscapes / E. Kirby, K. X. Whipple. – Текст : непосредственный // Journal of Structural Geology. – 2012. – Т. 44. – С. 54–75.

247 Landslide mapping using object-based image analysis and open source tools / Pukar Man Amatya, Dalia Kirschbaum, & Thomas Stanley, Hakan Tanyas. – Текст : непосредственный // Engineering Geology. – 2021. – 282. – 106000. – DOI 10.1016/j.enggeo.2021.106000.

248 Li, Z. L. Digital Terrain Modeling. Principles and Methodology / Z. L. Li, Q. Zhu, C. Gold. – Boca Raton : CRC Press, 2005. – 318 p. – DOI 10.1201/9780203357132.

249 LiDAR Drone Systems: Using LiDAR Equipped UAVs // DJI enterprise. – URL: <https://enterprise-insights.dji.com/blog/lidar-equipped-uavs>. – Текст : электронный.

250 Lui, W. T. Monitoring regional drought using the vegetation condition index / W. T. Lui, F. N. Kogan. – Текст : непосредственный // International Journal of Remote Sensing. – 1996. – Vol. 17. – No 14. – P. 2761–2782. – DOI 10.1080/01431169608949106.

251 McFeeters, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features / S. K. McFeeters. – Текст : непосредственный // International Journal of Remote Sensing. – 1996. – 17. – P. 1425–1432. – DOI 10.1080/01431169608948714.

252 Modelling spatial-temporal change of Poyang Lake using multitemporal Landsat imagery / F. Hui, B. Xu, H. Huang, Q. Yu, P. Gong. – Текст : непосредственный // International Journal of Remote Sensing. – 2008. – 29 (20). – P. 5767–5784.

253 Monitoring of Gas pipelines – a civil UAV application / D. Hausamman, W. Ziring, G. Schreier, P. Strobl. – Текст : непосредственный // Aircraft Engineering and Aerospace Technology. – 2005. – Vol. 77, № 5. – P. 352–360. – DOI 10.1108/00022660510617077

254 New developments in 3D laser scanners from: static to dynamic multi-model systems/ F. Blais et. al. – Текст : непосредственный // Procs. 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques. – Zurich, Switzerland, September 22–25, 2003. – P. 244–251.

255 Niyazi, B. Comparative Study of Different Types of Digital Elevation Models on the Basis of Drainage Morphometric Parameters (Case Study of Wadi Fatimah Basin, KSA) / B. Niyazi, S. M. F. Zaidi, M. H. Z. Masoud. – Текст : непосредственный // Earth Systems and Environment. – Springer, 2019. – Vol. 3, № 3. – P. 539–550. – DOI 10.1007/s41748-019-00111-2.

256 On the Vertical Accuracy of the ALOS world 3D-30m Digital Elevation Model / B. Caglar, K. Belek, C. Mekik, M. Ozendi. – Текст : непосредственный // Remote Sensing Letters. – 2018. – Vol. 9 (6). – P. 607–615. – DOI 10.1080/2150704X.2018.1453174.

257 Pay-per-hour water modelling // MIKE Powered by DHI. – URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-on-saas>. – Текст : электронный.

258 Pike, R. J. Chapter 1 Geomorphometry: a Breif Guide / R. J. Pike, I. S. Evans, T. Hengl ; Hengl T. and Reuter H. I. (Eds). – Текст : непосредственный // Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science. – Elsevier. – 2008. – vol. 33. – P. 3–30. DOI 10.1016/S0166-2481(08)00001-9.

259 Quakes. Live Earthquakes Map // A Free Service From www.Globalincident-Map.com. – URL: <http://quakes.globalincidentmap.com> (дата обращения: 18.04.2021). – Текст : электронный

260 Rajesh, H. M. Application of remote sensing and GIS in mineral resource mapping – An overview / H. M. Rajesh. – Текст : непосредственный // Journal of Mineralogical and Petrological Sciences. – 2004. – Vol. 99. – P. 83–103.

261 Santillan, J. R. Vertical accuracy assessment of ALOS World 3D – 30 m Digital Elevation Model over northeastern Mindanao, Philippines. / J. R. Santillan,

M. Makinano-Santillan, R. M. Makinano. – Текст : непосредственный // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – 2016. – P. 5374–5377.

262 Sentinel Hub. – URL: <https://www.sentinel-hub.com/>. – Текст : электронный

263 SRTM Data. – URL: <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>. – Текст : электронный

264 Target detection method for water mapping using landsat 8 oli/tirs imagery / L. Ji, X. Geng, K. Sun, Y. Zhao, P. Gong. – Текст : непосредственный // Water. – 2015. – 7(2). – P. 794–817.

265 Tarolli, P. Introduction to remote sensing of geomorphology / P. Tarolli, S. M. Mudd. – Текст : непосредственный // Developments in Earth Surface Processes. – Elsevier. – 2020. – Vol. 23. – P. XIII–XV. – DOI 10.1016/B978-0-444-64177-9.09992-6.

266 Using remote sensing to assess Russian forest fire carbon emissions / A. S. Isaev, G. N. Korovin., S. A. Bartalev, D. Ershov, A. Janetos, E. S. Kasischke, H. H. Shugart, N. H. French, B. E. Orlick, T. L. Murphy. – Текст : непосредственный // Climate Change. – 2002. – Vol. 55, No. 1–2. – P. 235–249.

267 Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works / Y. Ham, K. Han, J. Lin, M. Golparvar-Fard. – Текст : непосредственный // Visualization in Engineering. – 2016. – 4. – DOI 10.1186/s40327-015-0029-z.

268 Werner, M. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) / M. Werner. – Текст : непосредственный // Mission overview, J. Telecom. (Frequenz). – 2001. – V. 55. – P. 75–79.

269 Xu, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery / H. Xu. – Текст : непосредственный // International Journal of Remote Sensing. – 2006. – 27. – P. 3025-3033. – DOI 10.1080/01431160600589179.

270 Yongzhi, L. Flood Emergency Management Using Hydrodynamic Modelling / L. Yongzhi, Z. Wenting, C. Xinmin. – Текст : непосредственный // Procedia Engineering. – 2012. – V. 28. – P. 750–753. – DOI 10.1016/j.proeng.2012.01.802.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

«Утверждаю»

Генеральный директор
Коррозионной ассоциации
Российского топливно-энергетического
комплекса (ООО «КАРТЭК»)
д-р техн. наук, проф. А. П. Акользин



«29» сентября 2023

АКТ

о внедрении результатов научных исследований

Настоящий акт подтверждает, что Долгополов Д. В. выполнил, обосновал и подтвердил практическую ценность геопространственного моделирования для мониторинга магистрального трубопровода.

Результаты исследований Долгополова Даниила Валентиновича на тему «Теоретическое обоснование разработки технологий аэрокосмических исследований для создания геопространственных моделей систем трубопроводного транспорта» внедрены в комплекс работ по мониторингу магистральных трубопроводов.

Теоретические основы аэрокосмических исследований и геопространственного моделирования трубопроводных систем, а также результаты исследований изложены в научных публикациях, в том числе в статье «Использование ГИС-технологий и материалов аэрокосмической съемки для анализа дефектов трубы магистральных нефтепроводов» / Д. А. Маркелов, В. А. Мелкий, Д. В. Долгополов, А. П. Акользин, О. С. Алешко-Ожевская. – Текст : непосредственный // Практика противокоррозионной защиты. – 2021. – Т. 26. – № 3. – С. 17–21. – DOI 10.31615/j.corros.prot.2021.101.3-2.

Практическое применение рекомендаций по формированию единого геоинформационного пространства и геопространственного моделирования магистрального трубопровода способствует сокращению финансовых затрат по выявлению опасных процессов на ранних стадиях и своевременному планированию компенсирующих мероприятий, необходимых для обеспечения безопасной эксплуатации трубопровода.

Предлагаемые подходы позволяют проводить совместный анализ данных внутритрубной диагностики и результатов мониторинга опасных природных процессов, определять взаимосвязи между дефектами и источниками их возникновения, прогнозировать развитие протекающих процессов.

Начальник отдела

Новичихин Н.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ
 ДЛЯ ЭВМ № 2022662888. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА
 МОНИТОРИНГА ПРИРОДНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU2022662888

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
 ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2022662888

Дата регистрации: 07.07.2022

Номер и дата поступления заявки:
2022662580 07.07.2022

Дата публикации и номер бюллетеня:
07.07.2022 Бюл. № 7

Контактные реквизиты:

ЗАО «Ай Ко» Россия, 109004, г. Москва, Б.
 Дровяной пер., д. 8, стр. 1, эт.1, пм.Ш, ком.16
 info@i-core.ru +7 (495) 665-06-04

Автор(ы):

Долгополов Даниил Валентинович (RU),

Камашев Рафаэль Альбертович (RU),

Назаров Дмитрий Сергеевич (RU),

Удовиченко Михаил Сергеевич (RU)

Правообладатель(и):

Закрытое акционерное общество «Ай Ко» (RU)

Название программы для ЭВМ:

Технологическая цифровая платформа мониторинга природно-технологической среды

Реферат:

Программа для ЭВМ Технологическая цифровая платформа мониторинга природно-технологической среды (далее - МПТС) предназначено для: работы с пространственными данными, получаемыми в процессе мониторинга природной-технологической среды. Программное обеспечение позволяет контролировать процесс строительства инженерных объектов с использованием материалов дистанционного зондирования, получаемых в процессе аэросъемки и лазерного сканирования территорий.

Язык программирования:

Python, TypeScript

Объем программы для ЭВМ:

312528 Кб