

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НПИ) имени М.И. Платова»

На правах рукописи



БАБОРЫКИН МАКСИМ ЮРЬЕВИЧ

**МЕТОДИКА ДЕШИФРИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАЗЕРНОЙ
СЪЁМКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В
ГОРНЫХ РАЙОНАХ КАВКАЗА**

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

**Научный руководитель
д. г-м. н. Бурцев А.А.**

2020 г.

Работа выполнена на кафедре прикладной геологии факультета геологии, горного и нефтегазового дела Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова

Научный руководитель: **Бурцев Алексей Алексеевич**
доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Прикладная геология», факультета геологии, горного и нефтегазового дела Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Южно-Российского Государственного Политехнического Университета (Новочеркасский Политехнический Институт) им. М.И. Платова

Официальные оппоненты: **Васьков Игорь Михайлович**
доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Прикладная геология» горно-металлургического факультета, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственный технологический университет)

Миронюк Сергей Григорьевич
Кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник центра анализа сейсмических данных МГУ имени М. В. Ломоносова

Ведущая организация: **Институт географии, геологии, туризма и сервиса, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Кубанского государственного университета**

Защита состоится «15» июня 2021 года в 17.00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.121.04 при ФГБОУ ВО «РГГРУ имени Серго Орджоникидзе» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, зал диссертационных советов (каб.4-73).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, <http://mgri-rggru.ru/>

С диссертацией можно ознакомиться

Автореферат разослан «__» _____

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор геолого-минералогических наук



Ганова С. Д.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы:

Постоянно увеличивающийся рост потребления углеводородов приводит к необходимости поиска новых месторождений. Что включает в себя развитие инфраструктуры, строительства новых транспортных сооружений для доставки к месту переработки и дальнейшей транспортировке готового продукта и развития. Строительство и эксплуатация в сложных природных условиях требуют повышенного внимания (для предотвращения аварийных ситуаций). Одним из эффективных направлений контроля безопасной эксплуатации транспортной инфраструктуры является изучение и прогнозирование опасных геологических процессов на этих участках.

Прогнозирование опасных геологических процессов, входящих в природно-техническую систему, включает в себя дешифрирование, получение их качественных и количественных характеристик, а также мониторинг и прогноз развития природно-технической системы для снижения аварийных ситуаций и последствий воздействия геологических процессов на экосистемы.

Несмотря на известные натурные и аэрокосмические методы изучения опасных геологических процессов применение воздушного лазерного сканирования (ВЛС) расширяет круг задач, возникающих при проведении дешифрирования и мониторинга. Технология ВЛС позволяет фиксировать макро и микроструктуру рельефа, как на открытой поверхности, так и на залесенной территории в разных геоморфологических условиях.

Отсутствие методологических подходов к дешифрированию и мониторингу опасных геологических процессов на основе данных ВЛС для целей их изучения потребовало разработать алгоритмы поиска, определения вида процесса, его характеристик, мониторинга во времени и прогноза развития.

В настоящее время технология лазерного сканирования позволяет получать плотность точек лазерных отражений (ТЛО) до 300 точек на метр квадратный со среднеквадратической погрешностью от 3-4 см. Использование данных ВЛС повышает качество проведения их анализа, позволяет получать качественные и количественные характеристики, а при соблюдении технологии сканирования для высокоточного картирования, обеспечивает достаточно высокую точность модели рельефа для изучения опасных геологических процессов, расположенных в экологической системе. Такие характеристики дают возможность передавать детали микрорельефа под древесной и травяной растительностью при условии возможности прохождения луча сканирования между листьями, хвоей, ветками и травой. Необходимость улучшения качества изучения природных условий для строительства и возможность, ВЛС обеспечить

необходимую информативность задача разработки методики проведения мониторинга на основе ВЛС является первоочередной и актуальной задачей.

Технологии ВЛС позволяет получать рельеф с детализацией до 50 ТЛО на метр-квадратный, что дает возможность определить мелкие детали выделяемых геологических процессов. При возникновении или активизации геологических процессов, их динамики и влиянии на безопасность эксплуатации транспортных сооружений и их инфраструктуры, а также снижение влияния геологических факторов на экосистему. Методологические подходы дешифрирования на основе данных ВЛС, разработанные автором настоящей диссертационной работы позволяют применять цифровые модели местности (ЦММ) или цифровые модели рельефа (ЦМР) используемые для топографических планов масштабов 1:500 – 1:5000 для поиска опасных геологических процессов, определения их видов, характеристик, мониторинга во времени и прогноза развития.

Разработанные автором настоящей диссертационной работы критерии применения технологии ВЛС актуальны не только для мониторинга геологической среды или природно-технической системы включенных в экологическую систему, но и для проведения дешифрирования процессов при проектировании транспортных сооружений и их инфраструктуры с точки зрения повышения качества работ и уменьшения трудозатрат при инженерно-геологическом обследовании, а также снижения влияния геологических факторов на экосистему. Методологические подходы дешифрирования геологической среды или природно-технической системы разработанные автором является основой для мониторинга, т.е. нулевой статической моделью временного ряда, выстраиваемого при формировании динамических моделей, а также начальной ретроспективной моделью (от начала проектирования до конца строительства).

Следовательно, задача разработки указанных методик актуальна не только в научном, но также и в практическом плане. Применение разработанных автором алгоритмов, составляющих методологические подходы дешифрирования опасных геологических процессов и их мониторинг позволит не только обучить специалистов (операторов) пользоваться материалами, получаемыми при проведении ВЛС, но и обучить нейронные сети для автоматизации процесса в будущем. Что является перспективой направлением при проектировании и эксплуатации сооружений, так как позволяет не только повысить качество проектирования и снизить аварийность, но и оптимизировать затраты на строительство и повысить безопасность эксплуатации.

Цели и задачи:

Целью настоящей диссертационной работы является разработка методологических основ по дешифрированию и мониторингу опасных геологических процессов на основе дан-

ных ВЛС, апробации разработанных автором алгоритмов и создания рекомендаций для последующего внедрения в производство.

Основными задачами исследований являются:

1) Анализ методов дешифрирования и мониторинга на всех этапах жизненного цикла зданий или сооружений: предпроектной и проектной стадий обоснования строительства, строительстве и эксплуатации линейных и площадных объектов;

2) Исследование способов отображения потенциально опасных геологических процессов по видам и типам, их морфометрических характеристик, косвенных признаков активности геологических процессов на ЦММ или ЦМР, полученных по данным ВЛС совмещенного с аэрофотосъемкой;

3) Разработка методики проведения дешифрирования материалов ВЛС, выявление на них геоморфологического образа опасных геологических процессов и их мониторинг;

4) Применение разработанных решений для дешифрирования геологических процессов в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов, в горных провинциях, зонах распространения карста и просадочных грунтов. А также изучение особенностей, влияющих на активизацию протекания или угасания активности опасных геологических процессов и анализ подтверждения данных дешифрирования с данными полевых работ;

5) Исследование возможностей использования технологии ВЛС для мониторинга природно-технической среды, формирование статической модели местности с выстраиванием временных рядов для получения динамической модели, определение изменений метрических характеристик во времени и применение разработанных решений на практике.

Научная и методическая новизна исследований, проведённых в рамках настоящей диссертационной работы, заключается в следующем:

1) Впервые определены опасные геологические процессы (согласно перечню СП 115.13330.2016), дешифрируемые на ЦММ или ЦМР формируемых для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 созданных по материалам ВЛС;

2) Впервые разработана методика дешифрирования опасных геологических процессов на основе данных ВЛС;

3) Впервые разработана методика проведения мониторинга с применением воздушного лазерного сканирования включающая в себя рациональное расположение постоянно действующих станций GPS и опознавательных знаков обеспечивающих наименьшую погрешность определения каждой ТЛО в пространстве, минимального количества ТЛО на метр квадратный для определения микрорельефа опасных геологических процессов и формирования временных рядов и сравнительного анализа динамических моделей;

4) Апробирование разработанной методики дешифрирования опасных геологических процессов проведено на объектах, расположенных в разных климатических зонах, а также в опубликованных работах (в том числе ВАК) и докладах на научных конференциях и семинарах

5) Разработанная автором методика проведения мониторинга геологической среды апробирована на объекте «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопровод «Южный поток (Турецкий поток)»;

6) Впервые разработана методика определения положения трубопровода подземной прокладки с использованием воздушного лазерного сканирования и устройства определения планово-высотного положения трубопровода (разработанного автором настоящей диссертационной работы);

7) Получены патенты на изобретение методов дешифрирования и мониторинга по данным ВЛС.

Методы исследования: включают исследования выявления геологических явлений на статических моделях ЦМР (геологических тел, образованных при аккумуляции и разрушении рельефа при денудации), определение составных частей явлений (к примеру оползни – бровка срыва, головы оползня, языка оползня и т.д.), выявлении скоростей и ускорений протекания геологических процессов при мониторинге.

Решение поставленных задач выполнено с использованием программных продуктов, позволяющих визуализировать ЦМР, по которым проводилось экспертное дешифрирование автором настоящей диссертационной работы. Впервые при помощи геоинформационной системы использованы методы математической статистики, применяемой при проведении геологической съемки дистанционными методами, методы математического анализа при верификации статических моделей во время формирования динамических моделей.

Положения, выносимые на защиту:

1) Разработаны методы дешифрирования опасных геологических процессов на цифровых моделях рельефа созданных на основе данных воздушного лазерного сканирования с применением сравнительного анализа с каталогизированными основными типизированными моделями опасных геологических процессов, выявляемых на моделях рельефа, сформированных из данных разной плотности массива точек лазерных отражений.

2) Разработаны методы проведения мониторинга опасных геологических процессов способом воздушного лазерного сканирования, основанные на распознавании геоморфологических образов процессов и явлений, создания статических моделей, полученных при равных погодных условиях и формирования динамических моделей с проведением анализа изменений в рельефе.

3) Установлены современные принципы определения качественных (к примеру формы геологического тела на поверхности земли; его тип, подтип, текстурные особенности, определяющие его активизацию или затухание и т.п.) и количественных характеристик (размеры и др.) опасных геологических процессов в статических и динамических моделях рельефа, что необходимо для оценки местности при хозяйственном освоении и присвоении класса опасности того или иного геологического процесса для необходимости инженерной защиты и экономического обоснования при строительстве. Разработан метод определения прогнозной глубины зеркала скольжения оползня (относящейся к количественной характеристике оползня) по его типу и геоморфологическому облику.

4) Разработаны современные принципы включения в бизнес-процессы методики дешифрирования опасных геологических процессов на основе воздушного лазерного сканирования.

Фактические материалы:

В качестве исходных материалов в настоящей диссертационной работе использованы результаты научных исследований, проведенных автором в области применения аэрометодов при геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и геофизических исследований и проведении геодезических работ в составе ООО «АГМ Системы», а также материалы выполненных работ на объектах проектирования трубопроводного транспорта.

Использованные материалы:

- материалы воздушного лазерного сканирования (ВЛС), выполненного для топографической съемки 1:5000 – 1:500 масштабов разных климатических зон;
- материалы воздушного лазерного сканирования, специально выполненные для апробации методики дешифрирования опасных геологических процессов, с получением качественных и количественных характеристик;
- нормативно-технические документы Российской Федерации;
- результаты апробации метода дешифрирования опасных геологических процессов, проведенного в рамках экспериментальных проектов на объектах: «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопровод «Южный поток (Турецкий поток)», «Магистральный газопровод «Алтай», «Реконструкция магистрального газопровода «Майкоп-Самурская-Сочи», «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края «газификация Тамани», «Газификация Большого Сочи»; «Реконструкция и расширение газотранспортных мощностей «газопровод Крымск-Верхнебаканский», «Нефтепродуктопровод «Комсомольский НПЗ – порт Де-Кастри». Сухопутные сооружения» (в рамках изучения неотектоники);
- результаты мониторинга опасных геологических процессов проведенных в рамках пилотного проекта на объекте – «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопро-

вод «Южный поток (Турецкий поток)», «Продуктопровод Туапсинский район» (в рамках изучения динамики рельефа для выбора конкурентоспособных направлений трассы трубопровода).

Достоверность результатов исследований подтверждена полевой заверкой проведенного дешифрирования опасных геологических процессов при апробации на объектах:

- «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопровод «Южный поток (Турецкий поток)»,
- «Магистральный газопровод «Алтай»,
- «Реконструкция магистрального газопровода «Майкоп-Самурская-Сочи». Проведенных в рамках пилотных проектов на объектах:
- «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края «газификация Тамани»,
- «Газификация Большого Сочи»;
- «Реконструкция и расширение газотранспортных мощностей «газопровод Крымск-Верхнебаканский»,
- «Нефтепродуктопровод «Комсомольский НПЗ – порт Де-Кастри». Сухопутные сооружения».

Достоверность результатов исследований автора настоящей диссертационной работы также подтверждена при проведении мониторинга на основе воздушного лазерного сканирования на объекте «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопровод «Южный поток (Турецкий поток)», контролируемого классическими геодезическими методами по деформационным маркам, а также при изучении геодинамики на объекте «Продуктопровод Туапсинский район».

Личный вклад автора:

В основу диссертации положены материалы, полученные лично автором за 7-летний период работы в организациях, ведущих свою деятельность в области проектирования трубопроводного транспорта.

Автором лично проведены исследования применимости данных воздушного лазерного сканирования для проведения дешифрирования и мониторинга опасных геологических процессов.

Проведен анализ обоснования необходимого качества сканирования местности и подтверждено отображение опасных геологических процессов на местности в зависимости от количества ТЛО, отраженных от поверхности грунта на 1 м. кв. Сформулирована идея многоцелевого применения данных воздушного лазерного сканирования, произведена постановка научной проблемы и способа её решения. Разработаны методики дешифрирования экзогенных

геологических процессов и инженерно-геологических условий и мониторинга линейных сооружений и площадных объектов.

Автором лично проведены работы по дешифрированию опасных геологических процессов на объектах:

- «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопровод «Южный поток (Турецкий поток)»;
- «Магистральный газопровод «Алтай»;
- «Реконструкция магистрального газопровода «Майкоп-Самурская-Сочи»;
- «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края «газификация Тамани»;
- «Газификация Большого Сочи»;
- «Реконструкция и расширение газотранспортных мощностей «газопровод Крымск-Верхнебаканский»;
- «Нефтепродуктопровод «Комсомольский НПЗ – порт Де-Кастри». Сухопутные сооружения»;
- Принимал участие по составлению комплекта тематических карт объекта «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопровод «Южный поток (Турецкий поток)», лично составил: карту инженерно-геологических условий, карту районирования инженерно-геологических и инженерно-гидрогеологических условий М 1:200000 в том числе применяя данные воздушного лазерного сканирования.

Провел мониторинг на объектах:

- «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопровод «Южный поток (Турецкий поток)», контролируемого классическими геодезическими методами по деформационным маркам,
- «Продуктопровод Туапсинский район», изучении геодинамики рельефа и мониторинг активности опасных геологических процессов для принятия предпроектных решений.

Оптимизирован алгоритм проведения инженерных изысканий путем встраивания блока работ по дешифрированию опасных геологических процессов.

Практическое значение работы:

Разработанные методы изучения и прогнозирования опасных геологических процессов на ряде объектов показали свою информативность и экономичность. Предлагаемые автором настоящей диссертационной работе методы положили начало применения воздушного лазерного сканирования для выявления геологических процессов, потенциально негативно воздействующих на будущие сооружения и, как следствие, позволяющие снизить влияния геологических факторов на экологический риск, последствий воздействия геологических процессов на

экосистемы при эксплуатации сооружений. А также при встраивании в бизнес-процессы инженерных изысканий существенно оптимизируют алгоритм проведения работ и решают задачи при принятии управленческих решений.

Методы в совокупности или по отдельности создают базу существенному усовершенствованию в качестве дополнения к федеральным нормативным документам СП 11-105-97 (и его актуализированной версии), СП 47.13330 и другим нормативным документам, используемым при проведении инженерных изысканий, и служат составной частью мониторинга природно-технической системы.

Проведенные исследования и демонстрация итогов исследований дали обоснование для включения воздушного лазерного сканирования как метода для картирования оползней в нормативную документацию (СП 420.1325800.2018) [РЕЗОЛЮЦИЯ круглого стола НОПРИЗ 2015 г. http://nopriz.ru/upload/iblock/979/1_sro_03_1739._rezolyutsiya.pdf].

Научная апробация и публикации:

Автором получены два патента на изобретения методов и патент на полезную модель устройства определения планово-высотного положения трубопровода:

- Патент на изобретение № 2655955 «Способ дешифрирования экзогенных геологических процессов и инженерно-геологических условий»;
- Патент на изобретение № 2655956 «Способ проведения геотехнического мониторинга линейных сооружений и площадных объектов на основе воздушного лазерного сканирования»;
- Патент на полезную модель № 173296 «устройство определения планово-высотного положения трубопровода».

Научные результаты исследований оригинальны, подготовка основных публикаций проводилась автором единолично и с соавторами, при этом вклад автора был основным.

По теме диссертации опубликовано 10 тезисов, 17 статей, из них 7 статей в реферируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК и 1 коллективная монография.

Итоги исследований, апробации и применения разработанных решений по дешифрированию и мониторингу докладывались на всероссийских конференциях лично автором настоящей диссертационной работы.

Научные труды занимали первые места на международных конкурсах студентов, аспирантов, докторантов:

- V Международный интеллектуальный конкурс студентов аспирантов «Discovery Science: University – 2016» - «Дешифрирование экзогенных геологических процессов по данным воздушного лазерного сканирования» (первое место);

- Международный конкурс студентов и аспирантов (в рамках требований ФГОС) «University Knowledge – 2017» - «Концепция проведения мониторинга опасных геологических процессов и явлений на основе воздушного лазерного сканирования» (второе место);
- VI Международный интеллектуальный конкурс студентов, аспирантов, докторантов «Discovery Science: University – 2017» - «Сходимость результатов дистанционного метода дешифрирования с полевым обследованием на линейном объекте. Оползневой участок» (первое место);
- II Международный конкурс обучающихся и педагогов профессиональных учебных заведений (5 сессия сезона 2018/2019) «Professional Stars – 2018/2019» - «Методологические подходы проведения мониторинга опасных геологических процессов воздушным лазерным сканером (LiDAR), основанные на распознавании геоморфологических образов процессов и явлений» (первое место);
- VIII Международный интеллектуальный конкурс студентов, аспирантов, докторантов «Discovery Science: University – 2019» - «Методологические подходы к дешифрированию на основе данных лазерного сканирования (LiDAR), с применением сравнительного анализа с типизированными моделями опасных геологических процессов» (первое место).
- Акты о внедрении методов дешифрирования и мониторинга в компаниях ООО «ДАГЕСТАНКАДАСТРСЪЁМКА» и ООО «Аэрогеоматика».

Структура и объёмы работ:

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Текст диссертационной работы изложен на 169 стр. не включая приложения. Сопровождается 22 таблицами, 80 рисунками, 11 приложениями и списком литературы из 181 наименований.

Благодарности:

Автор выражает благодарность научному руководителю д. г-м. н., проф. А.А. Бурцеву за формирование научных взглядов, общее руководство работой и полезные идеи; д. г-м. н., проф. И.А. Богушу за консультации и помощь в выборе верного направления в работе. А также к.г-м.н, доц., зав. кафедрой Г.В. Рябову за ценные советы и всему профессорско-преподавательскому составу кафедры прикладной геологии ЮРГПУ (НПИ) за консультации в процессе написания работы. Отдельную благодарность автор выражает старшему преподавателю кафедры морской и региональной геологии Кубанского Государственного Университета Е.В. Жидиляевой за помощь в проведении экспериментов и руководству компании ООО «АГМ Системы» за предоставление материала для научной работы.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** сформулирована проблема, обоснована её актуальность, определены цель и основные направления при выполнении диссертационной работы, а также практическая значимость работы.

В **первой главе «Основы теоретического дешифрирования и мониторинга опасных геологических процессов дистанционными методами»** дан обзор применяющихся подходов к дешифрированию и мониторингу опасных геологических процессов (далее ОГП), приведены классификации геологических процессов, разработанные отечественными исследователями. Формирование перечня геологических процессов, которые могут быть опасными, имеет 80-летнюю историю. В настоящее время перечень закреплён в нормативном документе СП 115.13330.2016 является не достаточным. При проведении инженерных изысканий, изучения динамики в рельефе, мониторинга опасных геологических процессов и др. появляется необходимость систематизации геологических и иных природных процессов, оказывающих негативное воздействие на природно-техническую систему (ПТС).

Проблему получения качественных и количественных характеристик решают радиолокационная космо-, аэросъемка и лазерная локация. Наиболее качественной съемкой по точности передачи деталей и погрешности определения в пространстве объектов является лазерная локация с пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов.

Дешифрирование заключается в обнаружении и интерпретации распознавании ОГП. Полученные результаты дешифрирования аэрокосмических материалов выводятся в графических, цифровых или текстовых формах. Дешифрирование является этапно-комплексным.

1. Обнаружение (декодирование) — поиск на снимке участков, где отображены вероятнее всего объекты или проявления, относящиеся к геологическим опасностям. Формально на данном этапе решается задача вероятностного отнесения изображения к категории: «сигнал-шум» или «шум». 2. Распознавание (интерпретация) – определение объектов, изображённых на снимке. Различают формальное и интерпретационное распознавание. При интерпретационном подходе даётся толкование физической сущности каждого объекта. Формальный подход разделяет объекты на классы. При сложном дешифрировании обнаружение и распознавание проводят раздельно, в остальных случаях – практически одновременно. 3. Определение характеристик объектов. При проведении оценки выясняются: характер грунтов, породы деревьев, покрытия дорожных полотен, расстояния между объектами, линейные размеры объектов и многое другое.

Во **второй главе «Современное состояние проблемы выявления и мониторинга опасных геологических процессов дистанционными методами»** приводится история развития аэрометодов.

С 1931 г. начинается повсеместное создание научных и производственных организаций, специализирующихся на изучении и применении результатов аэрофотосъемочных работ практически во всех областях хозяйственной деятельности, включая различные геологические работы. Публикуется научная, методическая и учебная литература. Космическая эра вывела изучение Земли на качественно иной уровень и положила начало развитию новых методов изучения Земли. Кафедры инженерной геологии в ЛГИ, в МГРИ и МГУ открыли возможность применения аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. Дальнейшее развитие аэрометодов отражено в трудах А.Л. Ревзона, А.В. Садова, Ф.Н. Чалидзе; В.М. Валяха, Е.Г. Чаповского; И.С. Гудилина, И.С. Комарова и др.

Дистанционными методами изучаются также техногенные процессы, сопровождающиеся нарушением природоохранных технологий при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, а также при добыче полезных ископаемых (в том числе в прибрежно-шельфовой зоне), строительстве водохранилищ, коммуникаций и других инженерных сооружений, ведении сельского и лесного хозяйств.

Среди дистанционных методов наблюдений при мониторинге геологической среды и ПТС используются две основные группы способов: аэрокосмические и геофизические.

Общие сведения о применении аэро- и космических методах фотографирования и получения информационных материалов отражены в работах М.И. Ботова, В.А. Вяхирева, Б.Г. Гонина, И. С. Гудилина, Ш.М. Дейвиса, Л.И. Казика, Я.Г. Каца, И.С. Комарова, Н.П. Лавровой, А.Е. Михайлова, М.Н. Петрусевича, Н.С. Рамма; А.Г. Рябухина, В.Д.Савиных, И.И. Сониной, Е. Н. Сутыриной, Д.М. Трофимова, В. Миллера и К. Миллера и других авторов.

В 2006 году компания ЗАО «НИПИ «ИнжГео» начало использовать ВЛС для топографических работ. В 2008 году автором настоящей диссертационной работы предложен способ дешифрирования экзогенных геологических процессов и геологических условий. Данный способ применялся в первые на территории Российской Федерации для изучения геологической среды с 2010 года на объекте «Южный поток». В 2012 году автором настоящей диссертационной работы разработана методика применения ВЛС для мониторинга геологической среды и ПТС. Выдвинутые идеи автором настоящей диссертационной работе 2010-2012 гг. в организации ЗАО «НИПИ «ИнжГео» о применении ВЛС для нужд мониторинга позволили выработать методику и апробировать её на объекте «Южный поток». Апробация методики докладывалась на I Практической конференции «Инженерные изыскания на объектах нефтегазового комплекса» в 2014 г. (http://www.geomark.ru/ecwd_event/27-28-fevralya-2014-god-i-prakticheskaya-konferen/attachment/24-baborykin/). На протяжении семи лет автором настоящей диссертационной работы, начиная с 2010 года, производились исследования и публиковались результаты применения решений разработанных на основе проведенных исследований. Раз-

работанные автором настоящей диссертационной работы методики заняли достойное место среди методов ДЗЗ, так как в первые появилась возможность изучать земную поверхность, покрытую растительностью, что раньше при применении других методов было невозможным.

В третьей главе **«Разработка методологических принципов дешифрирования опасных геологических процессов на основе данных лазерного сканирования (LIDAR)»** представлены разработанные автором настоящей диссертационной работы методологические подходы проведения дешифрирования и определения качественных и количественных характеристик ОГП.

Проведённый анализ экспериментальных материалов ВЛС удовлетворяет потребности дешифрирования при сканировании местности для топографических планов М 1:2000 - М 1:500 (летательных аппаратов), М 1:200 и М 1:100 (беспилотных летательных аппаратов). Учитывая, что лазерные сканеры используемые предприятиями разные, как по техническим возможностям, так и по математическому аппарату, в связи с этим проведённые эксперименты позволили определить зависимость масштаба от отображения геоморфологических обликов ОГП.

Дешифрирование ОГП по данным ВЛС предполагает получение полезной информации путем сканирования земной поверхности с высокой плотностью ТЛО и формирования ЦМР или ЦММ (с детализацией нерегулярной сети, до 50 ТЛО на метр квадратный) исследуемой территории, а также моделирования расположения будущего или имеющегося искусственного сооружения. ЦМР или ЦММ – это математическое представление участка земной поверхности, полученное путём обработки материалов ВЛС совмещенной с аэрофотосъёмкой. ЦМР представляет собой информацию о высоте поверхности земли без учёта растительности, зданий и других высотных объектов, которые на ней находятся. ЦММ включает в себя информацию не только о высоте поверхности Земли но и учитывает растительность, здания и других высотные объекты.

Учитывая, что по данным ВЛС формируется высоко информативная ЦММ или ЦМР с плотностью 5 до 50 ТЛО на кв.м от поверхности земли в залесенных районах с проведением работ по сканированию для летательного аппарата до 300 км и беспилотных летательных аппаратов типа коптер до 250 га за вылет с погрешностью от 3-4 см в плане и высоте, сканирование является быстрым, надежным и в плане инженерных изысканий наиболее информативным видом съемки методом получения топографической информации.

Проведение дешифрирования оползней на объекте Южный поток (Турецкий поток) позволило выделить и описать дистанционно (до выезда в поле) оползневые участки (рисунок 1).

Отсутствие методик дешифрирования ОГП при использовании ВЛС по мнению автора настоящей диссертационной работы требует их разработки с четким алгоритмом применения методов и методик разработанных и предложенных автором.

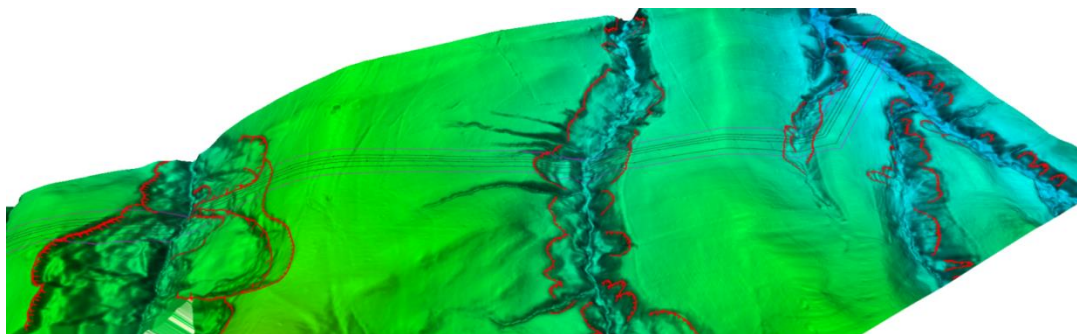


Рисунок 1 – Фрагмент модели цифрового рельефа с выделенными контурами оползней, объект «Южный Поток (Турецкий Поток)», плотность ТЛО 5-9 точек на мк.в.

После проведения успешного выделения оползней и проведенной полевой заверке (сходимость на ЦМР с плотностью 6-9 ТЛО на метр квадратный) автором настоящей диссертации было принято решение о разработке методики дешифрирования ОГП. Распознанные ОГП нуждаются в определении качественных и количественных характеристик. Автор настоящей диссертационной работы разрабатывает метод получения качественных и количественных характеристик ОГП для получения их всесторонней оценки.

Автор настоящей диссертационной работы разрабатывая комплекс методик формирует теорию регламентируя требования к получаемому массиву ТЛО, разрешению цифровых аэрофотоснимков и определению геоморфологических образов ОГП на них, при сканировании для различных масштабов и применяет их на практике.

Проведение дистанционного обследования территории на объекте Майкоп – Самурская – Сочи при использовании разработанной автором настоящей диссертационной работы и запатентованной методики дешифрирования позволило создать карту инженерно-геологических условий на стадии обоснования инвестиций (рисунок 2).

Разработанная автором настоящей диссертационной работы методика дешифрирования ОГП позволило на стадии проект параллельно с полевыми работами на объекте «Алтай», произвести выделение ОГП в пределах коридора ВЛС без привлечения дополнительных данных (карт материалов и космоснимков) (рисунок 3).

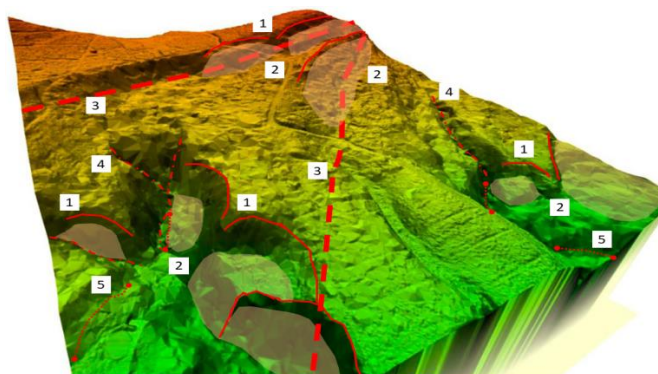


Рисунок 2 – Фрагмент модели цифрового рельефа с проведением дешифрирования ОГП, для подготовки контурной карты распространения ЭГП, объект газопровод «Майкоп – Самурская – Сочи» (Северный Кавказ) плотность ТЛО 2-3 точки на мк.в.. 1 – бровка срыва; 2 – оползень; 3 – линеамент; 4 – донная эрозия временного водотока (овражная); 5 – боковая эрозия временного водотока.

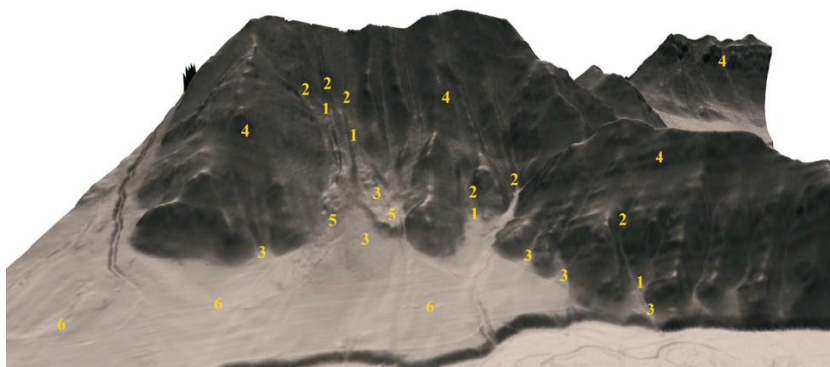


Рисунок 3 – Фрагмент цифровой модели рельефа, плотность ТЛО 5-9 точек на мк.в., объект «Магистральный газопровод Алтай». 1 – осыпи; 2 – ложбины движения осыпей; 3 – коллювиальный шлейф; 4 – переслаивание коренных пород; 5 – крупнообломочные отложения; 6 – делювиально-коллювиальный шлейф.

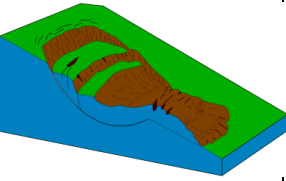
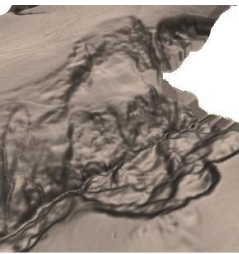
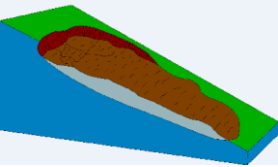
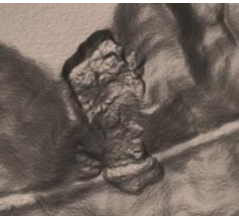
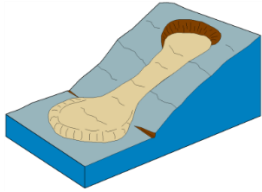
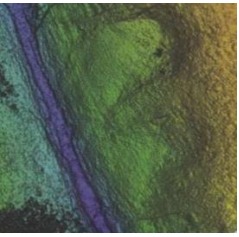
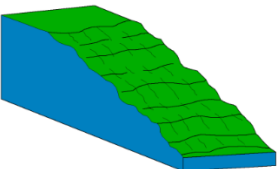
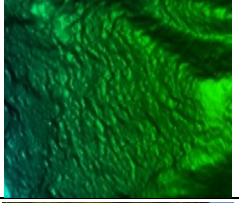
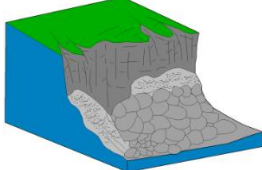
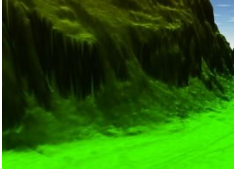
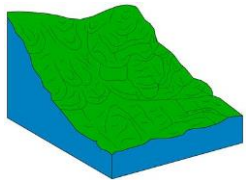
Методика состоит из определения наличия первичных составляющих «геоморфологического образа» и выявления вторичных составляющих.

1 этап: обнаружение процесса и определения его «Вида» по набору элементарных примитивов, т.е. по первичной составляющей «геоморфологического образа», технология сравнима с технологией распознавания лиц. Нахождение в матрице точек аномалий, выстроенных определенным образом, формирует примитивы «геоморфологического образа» ОГП;

2 этап: определение «Типа» – сравнение процесса с типизированной моделью из каталога (по расположению идентификационных примитивов на цифровой модели рельефа и типизированной модели). В таблице 1 приведены некоторые виды геоморфологических образов на цифровой модели рельефа имеющих плотность от 5 до 20 ТЛО на метр квадратный и их

типизированных моделей (созданных из ЦМР применяемых для формирования топографических планов М 1:500), наиболее часто встреченных на объектах применения предложенной автором методики;

Таблица 1. Некоторые виды типизированных моделей*

Класс	Вид	Тип	Типизированная модель	Геоморфологический образ на цифровой модели рельефа	Описание элементарных примитивов
1	2	3	4	5	6
Гравитационный	Оползень	Вращательный			Оползневой цирк; бровка уступа; уступ главный (первый от бровки уступа); вершина оползневого тела (относительно не разрушенная часть склона); уступ внутренний (последующие уступы); валы, бугры, западины (срединная и нижняя часть); трещины растяжения, поперечные и продольные.
		Вязко-пластичного течения			Оползневой цирк; бровка уступа; образование котловины; уступ главный (первый от бровки уступа); вершина оползневого тела (разрушена, наличие бугров и западин); валы, бугры, западины (по всему оползню).
		Солифлюкционный			Образование котловины; Уступ главный (первый от бровки уступа); вершина тела (разрушена, наличие бугров, западин и поперечных трещин); валы, бугры, западины (по всему телу). Визуально похож на оползень вязко-пластичного течения. Учитывается природно-климатическое расположение.
Гравитационные	Крип	При переувлажнении			Валы перпендикулярно плоскости падения склона; уступы перпендикулярно плоскости падения склона; поперечные трещины зияния; поперечные трещины.
Гравитационный	Осыпи	Каменная осыпь			Конусы у подножий склонов; Шлейфы у подножий склонов.
Гравитационный	Солифлюкция	Солифлюкция			Западины, валы и трещины перпендикулярно плоскости падения склона; бугры.

*Модели сформированы автором настоящей диссертационной работы

3 этап: выделение «Подтипа», самый сложный процесс – это обучение нейронной сети работать со структурно-текстурными особенностями «геоморфологического образа» ОГП. Сложность заключается в формировании каталога текстур ОГП по «Видам» явлений и создании алгоритма их компоновки для уверенного определения активности протекания процесса.

В примере использования методики дешифрирования показан один из представительных ОГП оползень. На ЦМР выделен оползень с первичными составляющими «геоморфологического образа» (рисунок 4), по которым определяется вид процесса (табл. 2).



Рисунок 4. Оползень с первичными составляющими «геоморфологического образа», плотность ТЛО 5-9 точек на мк.в. 1 – бровка срыва; 2 – голова оползня; 3 – подошва оползня.

Таблица 2. Типизация «геоморфологического образа».

№ п/п	Геологический процесс		
	Вид	Тип	Подтип
1	2	3	4
1	Оползень	Вязко-пластичного течения	Активный

Вторичные составляющие «геоморфологического образа» отображающие его тип, в данном случае по механизму (оползень пластичного течения). Интерпретация производится путём сравнения, с типизированной моделью, отражающей элементарные примитивы присущие только этому явлению (рисунок 5).



Рисунок 5. Сравнение «геоморфологического образа» оползня с типизированной моделью. а) – цифровая модель рельефа с определенным видом «образа» геологического процесса; б) – типизированная модель оползня вязко-пластичного течения отражающая элементарные примитивы присущие только этому явлению.

Следует отметить, что «Подтип», относящийся к вторичной составляющей, указывает на активность или стадию активности протекания процесса.

Выделение вторичной составляющей «Класс» по ярко выраженным очертаниям бровки срыва и её степень подверженности денудации, явно или неявно выраженные границы

оползневого тела, наличие тонкоструйчатой или линейной эрозии, текстурные особенности, расположение бугров и подверженность их денудации, наличие растительности.

Данный подход в дальнейшем может быть применен для автоматизированного дешифрирования геологических процессов по данным сканирования (LiDAR), а также при обучении нейронных сетей. В ходе формирования алгоритма дешифрирования выделено 3 этапа.

Распознавание объектов на ЦММ или ЦМР зависит от качества полученной модели, соответственно ячейка GRID на модели должна быть как минимум в два раза меньше распознаваемого объекта, в противном случае объект не проявляется.

Необходимый размер ячейки рассчитан, исходя из нескольких факторов: скорость движения воздушного носителя (**V**), частота зондирующих импульсов (**F**), частота сканирования (**f**), амплитуда сканирования **ф** (полный угол сканирования **Ф**), высота съемки (**H**). Выведены рекомендуемые скорости при сканировании для летательных аппаратов (ЛА) и беспилотных ЛА (БПЛА) (табл. 3).

Таблица 3. Расчёт скорости полёта км/час

Размер ячейки dX (М)	Частота сканирования Гц						
	70	60	50	40	30	20	10
0,2	50,4	43,2	36,0	28,8	21,6	14,4	7,2
0,3	75,6	64,8	54,0	43,2	32,4	21,6	10,8
0,4	100,8	86,4	72,0	57,6	43,2	28,8	14,4
0,5	126,0	108,0	90,0	72,0	54,0	36,0	18,0
0,6	151,20	129,6	108,0	86,4	64,8	43,2	21,6
0,7	176,4	151,2	126,0	100,8	75,6	50,4	25,2
0,8	201,6	172,8	144,0	115,2	86,4	57,6	28,8
0,9	226,8	194,4	162,0	129,6	97,2	64,8	32,4

Белым цветом выделены ячейки для летательных аппаратов, имеющих возможность лететь со скоростью 7 – 43 км/ч (БПЛА типа дрон). Жёлтым цветом – вертолёты. Зелёным – самолёты типа Ан-2. Красным — иные летательные аппараты, попадающие в скоростной диапазон от 162 до 226 км/ч.

С учетом проведенных исследований разработана технологическая схема использования материалов ВЛС с ЦАФС в инженерно-геологических изысканиях на линейных сооружениях предусматривает три основных периода: предполетной (подготовительный этап), полетной (техническая часть) и камеральный (камеральная обработка).

Предполетной (подготовительный этап) период делится на три этапа:

1) сбор и обобщение всех доступных фондовых и литературных материалов, по геологии, геоморфологии, тектонике, инженерной геологии, гидрогеологии, климату и растительности района предполагаемых работ;

2) создание ЦМР по данным ВЛС, выделение контуров проявления ОГП по прямым признакам с их классифицированием по типу и передача полученных результатов в проектные подразделения, которые выполняют работы по камеральной укладке проектного линейного сооружения;

3) Получение качественных и количественных характеристик ОГП для проектируемого сооружения, дешифрирование геологических структур и дешифрирование грунтов по генетическому типу. Определяемые качественные характеристики – типы и формы «геологических процессов и явлений», оконтуривание по границам явно и не явно выраженным на ЦМР, местоположение геологических процессов по отношению к геоморфологическим элементам, характер границ их проявления, структурно-текстурные особенности (бровки срыва, бугры, валы, выпирания, западины, уступы и т.д.) и т.п. Определяемые количественные характеристики – метрические характеристики, крутизна склона, на котором расположено то или иное «геологическое явление», уклоны бровок срыва, амплитуды смещения грунтов и т.д., а также типы грунтов по классу (подвиду – согласно ГОСТ 25100) по прямым и косвенным признакам.

Этапы *Техническая часть* и *Камеральная обработка*, указанные в оптимизированной логической схеме, соответствуют работам, регламентированным нормативными документами СП 47.13330, СП 11-105-97, часть I-IV, СП 446.1325800, СП 317.1325800, СП 420.1325800 и полностью соответствуют полевым и камеральным работам, а также требованиям согласно нормативным документам, применяемым при проведении инженерных изысканий, проектирования и строительства.

В четвертой главе «Разработка методологических принципов проведения мониторинга на основе ВЛС (LIDAR)» представлены методологические подходы к проведению мониторинга ОГП.

Началом мониторинга (полевой его части, не учитывая подготовительные работы) служит декодирование ОГП и их интерпретация, получение статической модели. Соответственно, для выявления (декодирования) ОГП необходимо использовать подход детализации «от большего к меньшему».

На основе оценки полученной статической и, если есть архивные материалы, ретроспективной модели с учетом результатов дешифрирования разрабатываются схемы проведения мониторинга. Например, при мониторинге трассы газопровода «Южный поток» (Турецкий поток) в пределах Северо-Западного Кавказа проводилось совмещение двух методик: наблюдение за динамикой земной поверхности в пределах проектируемой трассы трубопровода методом ВЛС и наблюдение геодезическими методами за поверхностью которое служило контролем. ВЛС проведенное с высоты 500 м от поверхности земли (имеющего погрешность 6 см) было выполнено в 2010 и повторно в 2012 гг.

Состав и последовательность действий, проводимых при проведении мониторинга на объекте «Южный поток» (Турецкий поток) был следующим:

1) декодирование ОГП, зон возможного их появления вследствие хозяйственного освоения по ЦММ, полученным по данным ВЛС совмещённого с ЦАФС;

2) интерпретация из декодированных ОГП, которые будут опасными для строительства и эксплуатации сооружений и зон возможного их появления;

3) полевая заверка выделенных участков в случае необходимости;

4) после проведения полноценных инженерно-геологических исследований выделенных участков производилась расстановка достаточного количества опознавательных знаков и станций GPS/ГНСС;

5) повторное сканирование местности с учётом требований к высококачественному сканированию. После проведённого анализа и определения участков наблюдения необходимо было выработать методику проведения работ - высоту и количество полос сканирования. Проведённые эксперименты показали, что для сканера ALS – 70 CM достаточным является высота 480 – 500 м. Также учитывая перепады высот в рельефе при проведении мониторинга, выбор количества полос сканирования зависит от ширины захвата сканера при угле наилучшего качества сканирования, который составил 30 град. (рисунок 6);

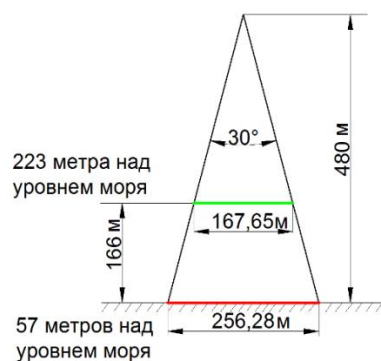


Рисунок 6. Схема коридоров сканирования на экспериментальном участке при перепаде высот от 57 метров до 223 метров над уровнем моря.

6) проведение анализа изменений в рельефе (получение количественных характеристик, выявление активных участков и их сегментации, краткосрочный прогноз);

7) проектирование сетей геодезических наблюдений по данным мониторинга, производимого на основе воздушного лазерного сканирования;

8) проведение геодезических наблюдений (получение качественных характеристик);

9) проведение анализа изменений положений деформационных знаков;

10) анализ и корреляция данных качественных и количественных характеристик, полученных при проведении мониторинга на основе воздушного лазерного сканирования и геодезических наблюдений за деформационными знаками, расположенными на склонах (прогноз и проектные решения).

Вторым объектом где применялась методика мониторинга на основе данных ВЛС является объект «Продуктопровод Туапсинский район» Краснодарского края. Мониторинг выполнялся для изучения геодинамики.

После проведения программного сравнения ЦМР и построения динамической модели производился анализ синтезированной модели.

Положительные и отрицательные изменения в рельефе показывают, насколько изменилась местность во времени. Для отображения динамики строятся изолинии динамики, которые накладываются на ЦММ, не только отображая визуальную картину изменений рельефа, но и давая количественную оценку.

В качестве нулевого цикла при изучении динамики геологических процессов была принята ЦМР, построенная по материалам ВЛС в марте 2010 года. Для следующего цикла в 2012 году произвели лазерное сканирование с максимально схожими погодными условиями. Наложение моделей при визуальной обработке выявляло изменения в рельефе за двухгодичный период (рисунок 7).

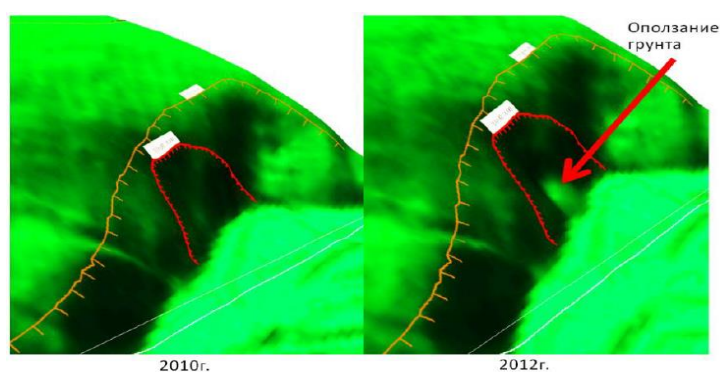


Рисунок 7. Временной ряд статических моделей, плотность ТЛО 5-9 точек на кв.м.

Динамика склоновых процессов.

При помощи вычислительных мощностей аппаратных средств достаточно быстро производится сравнение цифровых моделей 2010 и 2012 годов. Итогом их программного анализа стала динамическая модель изменения рельефа (рисунки 8).

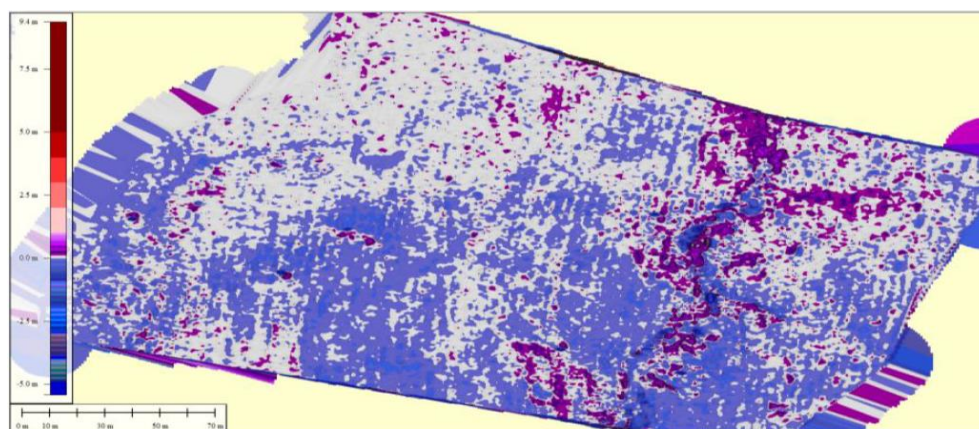


Рисунок 8. Динамическая модель, плотность ТЛО 5-9 точек на кв.м. Расцветка в красных тонах – положительное приращение, расцветка в синих – отрицательное, серый цвет – изменений нет.

Дальнейшая обработка заключается в построении изолиний изменений рельефа. Сечение изолиний задается исходя из погрешности съемки (рисунок 9).

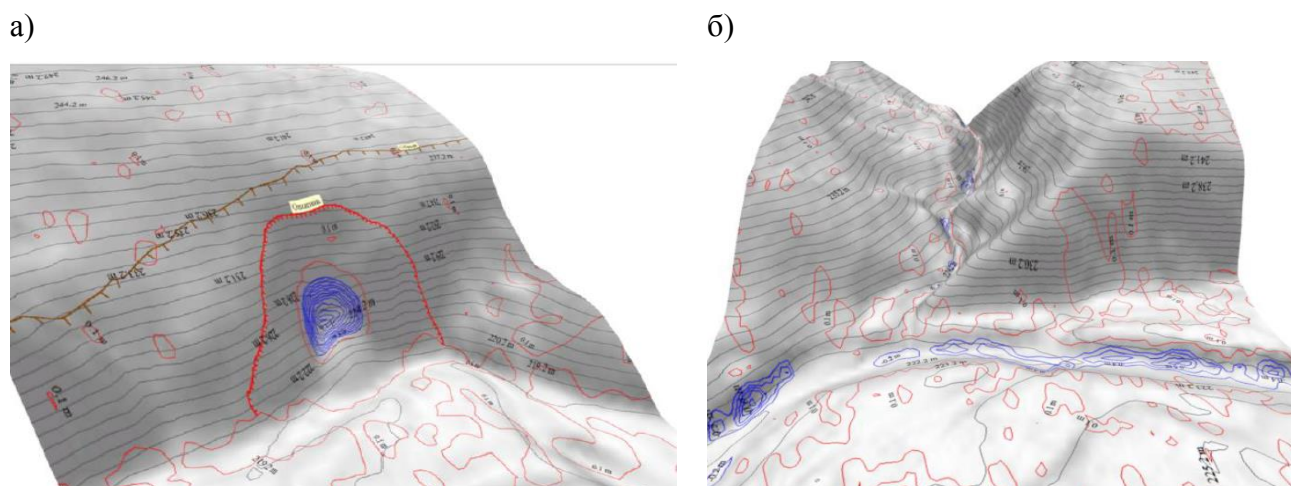


Рисунок 9. 3D модель динамики рельефа, плотность ТЛО 5-9 точек на м.к.в.

а) оползневой склон; б) эрозия постоянного и временного водотоков.

Изолинии красного цвета – положительное приращение, синего – отрицательное.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение технологии воздушного лазерного сканирования в комплексе технико-методических средств отвечает требованиям рациональной пространственно-временной организации процесса мониторинга и позволит существенно повысить качество мониторинга на линейных и площадных объектах, понизив влияния последствий геологических процессов на техническую систему.

В результате исследований было выполнено изучение возможности отображения того или иного геологического процесса и его морфометрических характеристик, косвенных признаков активности протекающего геологического процесса на ЦММ или ЦМР. Данное изучение позволило выявить взаимосвязь достаточного количества ТЛО на метр квадратный (поверхностная плотность) от истинной поверхности земли для надежного выделения морфометрических форм. Разработанные критерии декодирования и интерпретации ОГП, при разных высотах сканирования, зависящих от количества точек лазерных отражений (ТЛО) на м. кв. от истинной поверхности земли позволяют формировать требования к ВЛС в техническом задании при проведении инженерных изысканий.

Преимуществом служит возможность ретроспективы к нулевой статической модели, являющейся начальной точкой отсчёта проведения мониторинга. Хранящиеся в банке данных объёмные статические модели рельефа с увязанными геологическими данными образуют кубы данных, позволяющие довольно быстро отстраивать динамические модели и проводить

анализы с последующими заключениями и рекомендациями по безаварийной эксплуатации сооружений и снижению аварийности, и как следствие негативное влияние на экосистему.

Проведена апробация методики дешифрирования ОГП в разных природно-климатических зонах. Автором лично применялась методика дешифрирования ОГП на объектах: «Южный поток (Турецкий поток)»; «Магистральный газопровод «Алтай»; «Газопровод «Майкоп-Самурская-Сочи»; «газификация Тамани» Краснодарский край; «Газификация Большого Сочи»; «Газопровод Крымск-Верхнебаканский»; «Нефтепродуктопровод «Комсомольский НПЗ – порт Де-Кастри». Сухопутные сооружения». А также на изучении оползня в Липецкой области совместно с представителями ФАУ РОСДОРНИИ в 2018 году, результаты исследования опубликованы в журнале автомобильные дороги (февраль 2018 №2 (1035).

Проведено изучение возможности применения ВЛС для мониторинга ОГП. Разработаны методологические подходы по проведению мониторинга ОГП на основе ВЛС.

Разработаны требования для проведения мониторинга ОГП. Проведена апробация методики проведения мониторинга ОГП на объекте «Южный поток» (Турецкий поток). На основе полученных результатов разработаны принципы включения в бизнес-процесс инженерных изысканий методов дешифрирования и мониторинга ОГП, применимых для выявления возможных рисков появления аварийных ситуаций (снижение влияния геологических факторов на экологический риск, последствий воздействия геологических процессов на экосистемы). Учитывая высокие требования к инженерно-геологической модели и как правило минимальных сроках выполнения работ и сдачи отчетной документации появилась необходимость применения методов дешифрирования для исследования изучаемой местности с целью минимизации перетрассировок или переноса площадных объектов, частично или целиком. Применяемые ранее космо и аэрометоды достаточно затратные, так как являются отдельными видами работ, а встраиваемая методика дешифрирования инженерно-геологических условий разработанная автором настоящей диссертации позволяет многократно применять априорные данные ВЛС полученные при проведении топографических работ. Преимуществом предлагаемой оптимизированной схемы инженерных изысканий является распараллеливание работ при комплексном подходе к дешифрированию, т.е. получение геологических данных (выполняемых геологами), топографических (топографы, геодезисты), экологических (экологи, геоэкологи, частично геологи) и гидрологических (гидрологи, частично геодезисты и геологи). Оптимизированная схема инженерных изысканий не выходит за рамки нормативных документов и не нарушает стадийность выполнения работ.

Уникальным является унифицированное применение материалов ВЛС на всех стадиях при разном масштабировании при решении различных изыскательских задач.

Таким образом, выстраивание схемы проведения мониторинга, основанного на технологии ВЛС даёт возможность решать ряд других задач инженерной геологии помимо дешифрирования, которое позволяет не только получать данные о наличии геологических процессов, но и планировать, контролировать полевые работы, а также проектировать сети геотехнического мониторинга.

Список наиболее значимых опубликованных работ по теме диссертации

1. Бабoryкин, М.Ю. Мониторинг опасных геологических процессов на линейных объектах [Статья] / М.Ю. Бабoryкин // Инженерные изыскания. 2013. №10-11. С. 44-55.
2. Бабoryкин, М.Ю. Мониторинг оползней с использованием лазерного сканирования и геодезических наблюдений [Статья] / М.Ю. Бабoryкин, Е.В. Жидиляева // Инженерные изыскания. 2014. №3. С. 16-24.
3. Бабoryкин, М.Ю. Выявление опасных геологических процессов при проведении инженерно-геологических изысканий на основе цифровых моделей рельефа [Статья] / М.Ю. Бабoryкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Инженерные изыскания. 2015. №2. С. 30-37.
4. Бабoryкин, М.Ю. Факторы геологической опасности при проектировании и эксплуатации трубопроводов и их мониторинг [Статья]. / М.Ю. Бабoryкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Газовая промышленность № 11/730/2015. С. 40-46.
5. Коллектив авторов. Научные исследования – 2017: практическая часть: монография [Книга] / Г.И. Гумерова [и др.] / под ред. проф. Э. Ш. Шаймиевой. // Раздел Практические исследования в геологии. Глава Проведение мониторинга опасных геологических процессов на основе результатов воздушного лазерного сканирования. / Бабoryкин М.Ю., Бурцев А.А., Жидиляева Е.В. М.: РусАльянс Сова, 2017. С 151-225.
6. Бабoryкин, М.Ю. Комплексное обследование оползней [Статья]. / М.Ю. Бабoryкин, А.М. Кулижников, Р.А. Еремин // Журнал автомобильные дороги. Февраль 2018 №2 (1035). С. 106-113.
7. Бабoryкин, М.Ю. Сходимость результатов дистанционного метода дешифрирования с полевыми работами на линейном объекте. На примере оползневого участка [Статья] / М.Ю. Бабoryкин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 7. С. 161-175.