

**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

БАБОРЬКИН МАКСИМ ЮРЬЕВИЧ

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

Специальность 25.00.36

«Геоэкология»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

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

2020 г.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ	15
1.1 Определение объекта и предмета исследований теоретического дешифрирования и мониторинга	15
1.2 Определение опасных геологических процессов и их качественные и количественные характеристики	16
1.3 Механизмы дешифрирования опасных геологических процессов	22
1.3.1 Современные технологии дистанционного лазерного сканирования	26
1.4 Условия и факторы развития современных опасных геологических процессов и их динамика ...	27
1.5 Прогноз появления, активизации опасных геологических процессов	29
ГЛАВА 2 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ	30
2.2 Основные принципы дешифрирования опасных геологических процессов	30
2.1 Изученность вопроса.....	41
2.3 Основные принципы организации мониторинга дистанционными методами	47
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ (LIDAR)	50
3.1 Исследование положения дешифрирования в технологической схеме инженерных изысканий ..	50
3.1.1 Воздушное лазерное сканирование как один из аэрометодов	52
3.1.1.1 Технологическая схема использования материалов ВЛС для инженерно-геологических изысканий	53
3.1.1.2 Комплексование методов.....	56
3.2 Основы дешифрирования по данным воздушного лазерного сканирования (LiDAR)	58
3.2.1 Исследования лазерного сканирования для выработки критериев качества данных воздушного лазерного сканирования при решении морфологических задач.....	60
3.2.2 Сравнение с типизированными моделями.....	78
3.3 Алгоритмизация проведения дешифрирования	85
3.3.1 Предварительная подготовка и обработка материала	85
3.3.2 Проведение декодирования геологических процессов и первичной интерпретации.....	86
3.4 Методика определения качественных характеристик	90
3.5 Методика получения количественных характеристик	92
3.6 Результаты практического применения	93
3.7 Результаты выполненных исследований	110

3.8 Выводы.....	118
ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ВЛС (LIDAR)	120
4.1 Теоретические основы проведения мониторинга	120
4.2 Принципиальная схема мониторинга	123
4.3 Исследование качества сканирования и выработка технических требований для мониторинга .	125
4.4 Концептуальная схема практического проведения мониторинга.....	130
4.5 Результаты практического применения.....	133
4.6 Результаты выполненных исследований	141
4.7 Выводы.....	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	150
Литература.....	152
Приложение А	170
Приложение Б.....	185
Приложение В	186
Приложение Г.....	187
Приложение Д	188
Приложение Е.....	189
Приложение Ж.....	190
Приложение И	191
Приложение К	192
Приложение Л	193
Приложение М.....	194

Список сокращений

- БПЛА – беспилотный летательный аппарат
ВЛС – воздушное лазерное сканирование
ГНПП – Государственное научно-производственное предприятие
ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли
ЕСГ – единая система газоснабжения
ЛА – летательный аппарат
ММГ – многолетнемерзлые грунты
НДС – напряженно-деформирование состояние
ОГП – опасный геологический процесс
ПТС – природно-техническая система
РЛС – радиолокационная съемка
ТЛО – точки лазерных отражений
УГВ – уровень грунтовых вод
ЦАФС – цифровая аэрофотосъемка
ЦГАФС – цифровая гиперспектральная аэрофотосъемка
ЦГКФС – цифровая гиперспектральная космосъемка
ЦКФС – цифровая космосъемка
ЦМАФС – цифровая многозональная аэрофотосъемка
ЦМКФС – цифровая многозональная космосъемка
ЦММ – цифровая модель местности
ЦМР – цифровая модель рельефа
ЭГП – экзогенные геологические процессы

ВВЕДЕНИЕ

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 перспективам 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

данных 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 газопровод «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 ТЛЮ, 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» (Приложение Б);
- Патент на изобретение № 2655956 «Способ проведения геотехнического мониторинга линейных сооружений и площадных объектов на основе воздушного лазерного сканирования» (Приложение В);
- Патент на полезную модель № 173296 «устройство определения планово-высотного положения трубопровода» (Приложение Г).

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» (Приложение Д);

- 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» (Приложение Е);

- VI Международный интеллектуальный конкурс студентов, аспирантов, докторантов «Discovery Science: University – 2017» - «Сходимость результатов дистанционного метода дешифрирования с полевым обследованием на линейном объекте. Оползневой участок» (Приложение Ж);

- 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» (Приложение И);

- 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» (Приложение К).

- Акты о внедрении методов дешифрирования и мониторинга в компаниях ООО «ДАГЕСТАНКАДАСТРСЪЁМКА» и ООО «Аэрогеоматика» (Приложения Л-М).

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.

ГЛАВА 1 ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

1.1 Определение объекта и предмета исследований теоретического дешифрирования и мониторинга

Изучение ОГП является приоритетным направлением ряда наук горнодобывающего и строительного кластеров. В связи с этим, итоговые решаемые задачи разных наук для полного представления о появлении, активизации и воздействии на технические системы ОГП требуют синергетического синтеза знаний и накопленного опыта в разных дисциплинах. Исходя из выше указанного утверждения понимание причин возникновения, развития и прогноза активности при дешифрировании и мониторинге ОГП в настоящее время невозможно в виду отказа от применения аэрометодов в инженерных изысканиях. В связи с этим необходимо реанимировать и модернизировать школу аэрогеологии созданную в СССР синергично связанную с дисциплинами, изучающими экзогенные и эндогенные геологические процессы с агентами антропогенных факторов, и их воздействие на освоение территорий, а также воздействие на техногенные объекты освоенных территорий.

Опираясь на определение теории того или иного геологического процесса И.В. Поповым [121] теорию учения об ОГП можно выстроить как систему основных законов и закономерностей, определяющих их физическую сущность, прогноз их появления, активизации и затухания во времени при взаимодействии с геологической средой или ПТС.

Объектом теоретического изучения ОГП аэрометодами является рельеф, рельефообразующие факторы и агенты воздействия на природную систему вследствие которых появляются или активизируются процессы, протекающие в верхней части литосферы. Предметом теоретического изучения ОГП являются экзогенные геологические процессы, которые могут быть опасными для проектируемых или эксплуатируемых линейных и площадных сооружений, и проявлений воздействий, связанных с эндогенными геологическими процессами [35].

1.2 Определение опасных геологических процессов и их качественные и количественные характеристики

Основопологающим при определении того или иного ОГП определение его вида как процесса, количественных и качественных характеристик, их количественного прогноза, также установление интенсивности их развития и выявления степени угрозы проектируемым или эксплуатируемым линейным и площадным сооружениям, а также экологической системе [108].

Впервые классификацию геологических процессов предложил Ф.П. Саваренский в 1939 г., в которой ОГП были разделены на следующие категории (см. таблицу 1) [113].

Таблица 1. Классификация геологических (экзогенных геологических) процессов по Ф.П. Саваренскому [113].

Категория процессов/явлений	Вид процессов/явлений
I. Явления, приуроченные к деятельности поверхностных вод (моря, озера, реки, каналы)	1. Сели 2. Склоновые размывы (овраг) 3. Обрушение берегов за счет подмыва
II. Явления, приуроченные к деятельности поверхностных и подземных вод	4. Образование болот 5. Просадочные явления 6. Образование карста
III. Явления, приуроченные к деятельности подземных и поверхностных вод в пределах склонов	7. Оползневые явления
IV. Явления приуроченные только к деятельности подземных вод	8. Плывуны 9. Явления суффозии
V. Явления приуроченные к деятельности ветра	10. Навевание и развевание

Продолжение таблицы 1.

Категория процессов (явлений)	Виды процессов (явлений)
VI. Явления, приуроченные к колебаниям температур грунтов	11. Вечная мерзлота с её проявлениями 12. Пучинность и промерзания грунтов
VII. Явления, приуроченные к внутренним силам грунтов	13. Разбухания, осадки, сжатие
VIII. Явления приуроченные к внутренним силам Земли	14. Явления, связанные с сейсмикой
IX. Явления, приуроченные к деятельности человека	15. деформации грунтового массива при техногенном воздействии (выработка)

В дальнейшем известными учеными советской школы инженерной геологии на генетической основе были разработаны разные модификации общей классификации.

В 1952 г. П.Н. Панюковым предложена схема, которая классифицировала ОГП, связанные с деятельностью подземных и поверхностных вод [113].

Следуя принципу «классификации природных геологических явлений по принадлежности ключевых деятельных сил при их появлении и течении», И.В. Попов в 1959 г. предположил систематизацию в надлежащем облике «Явления» [113]:

- I. приуроченные к деяниям моментов выветривания.
- II. приуроченные к воздействию сил ветров (эоловые процессы, абразия).
- III. приуроченные к деяниям веса текучей воды (эрозия грунтов и оснований, а еще их смыв).
- IV. приуроченные к деяниям веса текучей воды, взвеси и увлекаемые ею обломки горной породы и грунта (сели).
- V. приуроченные к деяниям веса пород (оползень, осыпь, обвал).
- VI. приуроченные к работе силы гидродинамического давления и веса подземных вод (суффозия).

- VII. приуроченные к силам, перепада ниже – повыше нулевой отметки температур во время подземных вод (наледы, бездны и деструкции связанные с мерзлотой).

Учитывая недостатки прежних классификаций В.Д. Ломтадзе в 1977 году выдвинул классификацию, представленную в таблице 2.

Таблица 2. Классификация ОГП (ЭГП) по В.Д. Ломтадзе [113].

Процессы	Явления
Приуроченные к деятельности поверхностных вод (моря, озера, водохранилища, реки и временные водотоки)	Подмыв и разрушение береговой части водохранилищ, озер и морей. Разрушения при подмывах берегов рек. Размыв склона – овражно-балочная эрозия
Приуроченные к паводкам в горах	Сель
Приуроченные к деятельности поверхностных и подземных вод	Просадки грунтов/почв Заболачивания Карст
Приуроченные к деятельности подземных вод	Суффозия Плывуны
Приуроченные к деятельности сил гравитации	Обвал Оползень
Приуроченные к деятельности ветров	Навевание, развевание
Приуроченные к промерзанию и оттаиванию грунтов	Наледь Морозные пучения Термокарст

Продолжение таблицы 2.

Процессы	Явления
Приуроченные к действиям внутренних сил в грунтовом массиве	Разуплотнение Набухание Усадка
Приуроченные к действиям внутренних сил Земли	Явления, связанные с сейсмикой
Приуроченные к инженерной деятельности человека	Уничтожение полезных площадей при разработке месторождений полезных ископаемых. Оседание земной поверхности при довольно больших откачках нефти, газа и подземных вод. Подтопление и затопление. Вторичное засоление почв/грунтов при орошениях

В 1978 году Е.М. Сергеевым предложена общая классификация геологических процессов и явлений, как образующихся естественным путем в природе, так и при участии человека. Эко классификация собрала как эндогенные, так и экзогенные процессы. В его классификации процессы рассмотрены без отрыва от грунтового массива в совокупности с факторами, которые являются способствующей ситуацией появления какого-нибудь процесса [1].

В 1981 году Г.К. Бондарик, в качестве классификационных признаков рассматривал: первичные и вторичные процессы; наружная среда, при содействии с которой откликается ЭГП; приуроченность процесса к контактам геологической среды с наружными средами и т.д. [113].

В 2002 году Н.С. Красиловой под руководством В.Т. Трофимова построена классификация с учетом экологических последствий, а также временных и пространственных характеристик процессов (см. рисунок 1) [1].

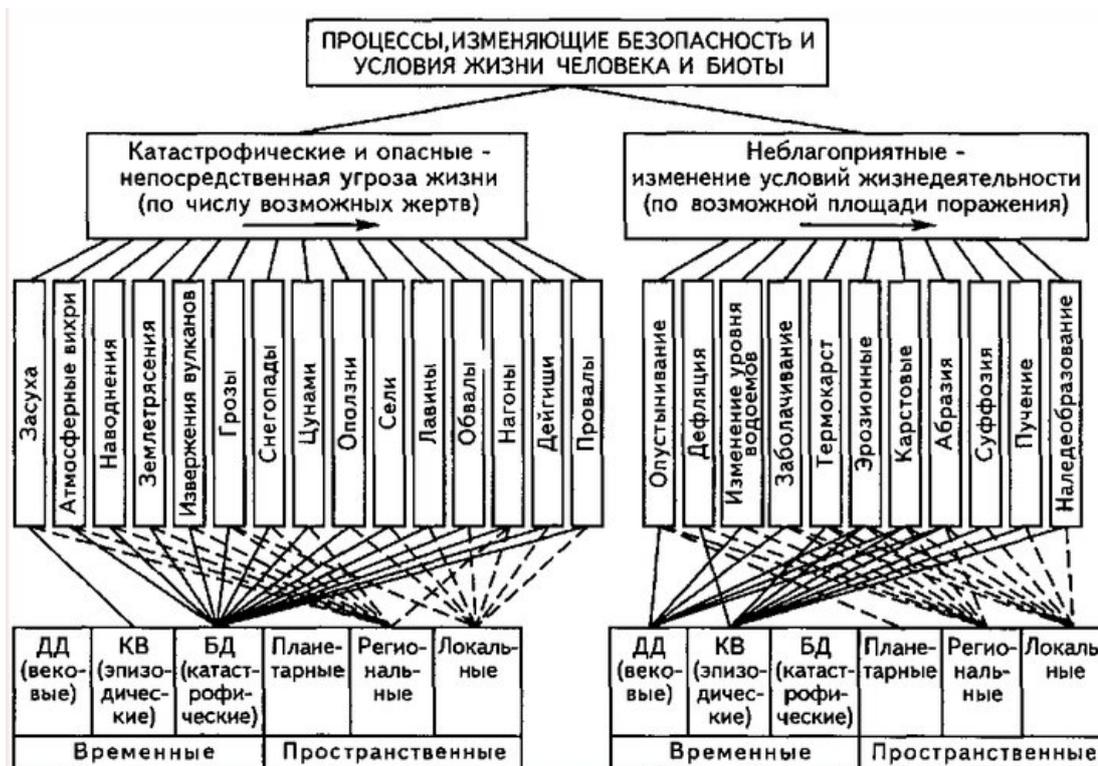


Рисунок 1. Систематика геологических и других природных процессов по интенсивности негативных воздействий на ПТС, биоту, включая человека (по Трофимову, Зилингу, 2002). ДД – длительнодействующие (вековые); КВ – кратковременные (эпизодические); БД – быстродействующие.

В наибольшей степени для изучения ОГП, включая прогнозы воздействий какого-либо процесса на ПТС, а также линейные и площадные сооружения подходит классификация, предложенная Н.С. Красиловой [1].

Систематики геологических и иных природных процессов, имеющих негативное воздействие на ПТС, позволяют сформировать список ОГП, определить какие из них отображаются на поверхности по прямым и/или косвенным признакам для описания качественных характеристик и измерения некоторых количественных параметров.

В настоящее время изучение любых ОГП неизбежно связано с измерением параметров. Известны и широко применяются методики измерений параметров при изучении отдельных процессов: оползней (Е.П. Емельянова, Г.С. Тер-Степанян); селей; эрозии (С.С. Соболев) и т.д., а также обширный диапазон методов измерения ЭГП [146]. Помимо количественных характеристик необходимо фиксировать качественные характеристики ОГП, т.е. неизмеряемые характеристики, повествующие о виде, подвиде, состоянии и иных неизмеряемых признаках какого-либо ОГП.

Получение некоторых качественных характеристик: цвет, расположение в пространстве, наличие явно или не явно выраженных границ и т.п., можно идентифицировать на незалесённых территориях по космоснимкам, также имеется возможность получить некоторые количественные характеристики: размеры, удаление от линейного или площадного сооружения, зоны влияния на них и т.д.

Сложность обнаружения того или иного ОГП и, как следствие, определение качественных и количественных характеристик на залесённых территориях требует либо применения косвенных методов, не всегда отображающих действительность, либо применение до недавнего времени считавшимися не традиционным методом получения модели рельефа, такой как воздушное лазерное сканирование.

Существенная пространственная неоднозначность исследуемых геологической среды и ПТС, их динамичности не всегда позволяет применять традиционные методы изучения [85], даже при наличии стереопар, позволяющих создать объемную модель не дает возможности передачи структурно-текстурных особенностей участков с кустарниковой и древесной растительностью.

На сегодняшний день наиболее распространенными среди данных космосъемки применяемых при изучении ОГП являются панхроматические и многозональные изображения [85].

Проблему по получению качественных и количественных характеристик решает 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.

Следует отметить, что при получении качественных и количественных характеристик ОГП, во время изучения – от выявления, т.е. дешифрирования, до мониторинга и прогноза некоторые качественные характеристики («активность и активизация») переходят в количественные. То есть, характеристики «активность» и «активизация», при дешифрировании определяются по выраженности границ сформированного тела при аккумуляции или границ деструктивных форм рельефа. Следовательно, при формировании временных рядов получают количественные характеристики – скорость и ускорение. Таким образом качественная характеристика активность (активен, не активен) «скорость» будет охарактеризована приращением массы – или энергопереноса за единицу времени, а активизация «ускорение» – приращение активности «скорости» за единицу времени [146].

ОГП по характеру проявления подразделяются на условно-непрерывные и прерывистые, которые в свою очередь делятся по активности [146].

К условно-непрерывным относятся ОГП, динамика которых определяется замкнутым гидрогеологическим годом и более крупной внегодичной цикличностью, связанной с теми же факторами [146].

К прерывистым имеют отношение ОГП, проявление обусловленные внегодичной цикличностью. В данном случае оценивается активизация и затухание вне года. К данным процессам применяется понятие внутригодичной активности, при этом имеется в виду другой смысл – то есть предрасположенность к проявлению [144].

1.3 Механизмы дешифрирования опасных геологических процессов

Термин «дешифрирование аэрофотоснимков» может пониматься как название научной дисциплины и как процесс обработки снимков [98].

Дешифрирование, как научная дисциплина, направлено на разработку теоретических и практических основ и рекомендаций для извлечения информации об объектах местности по их изображениям на аэрофотоснимках.

Дешифрирование аэрофотоснимков как процесс обработки наряду с фотограмметрическими измерениями представляет собой один из способов извлечения информации об изучаемой местности по изображению. Предназначение дешифрирования космо- и аэрофотоснимков – получение информации о природной или ПТС прямыми и косвенными методами [7, 10, 61, 95].

Алгоритм дешифрирования космо- и аэрофотоснимков представляется декодированием (обнаружением), интерпретацией (распознаванием) с итоговым получением качественных и количественных характеристик.

Декодирование (обнаружение) – первый этап (низкий уровень) состоящий из обнаружения какого либо объекта (относящиеся к геологическим опасностям) или участка где может произойти появление объекта или совокупности объектов. На данном этапе идентификация обнаруженного объекта не производится по классу, виду и типу. Формально этот этап решает задачи вероятностного отнесения изображения к категории: «сигнал-шум» или «шум» [126].

Интерпретация (распознавание) – второй этап (средний уровень). Производится идентификация обнаруженных объектов по классу и виду, а также производится выделение зон с возможным появлением объекта или совокупности объектов (относящиеся к геологическим опасностям).

Определение характеристик декодированных и интерпретированных объектов – третий этап (высокий уровень). Производится деление по типу, анализируется для получения качественных и количественных характеристик. Вышеуказанные характеристики объектов осуществляется за счет измерения параметров фотоизображений: параллакс, геометрических размеров и т. д [7, 61, 63, 74, 76, 85, 86, 95, 122, 152]. При проведении оценки определяются: виды грунтов, породы лесных насаждений, покрытия дорог, метрические характеристики объектов и т.д.

Все три этапа рассмотренные выше имеют большое значение для успешного проведения дешифрирования. Однако одним наиболее важных этапов является «распознавание», на этом этапе получается начальная «смысловая» информация.

Распознавание сложный и трудоёмкий процесс, в результате которого можно либо: интерпретировать (распознать), не интерпретировать (не распознать), или интерпретировать (распознать) неверно исследуемый объект. В дешифрировании других исходов не встречается. Факты распознавания и не распознавания объекта, отображенного на снимке, являются случайными событиями, так как этот процесс даже при изучении объектов одного и того же типа объекта происходит всякий раз по-своему. Это обусловлено не только свойствами фотоизображения, но и особенностями самого этапа интерпретации (распознавания).

Дешифрирование космоснимков и аэрофотоснимков производится с различными целями. В связи с этим возникает целый ряд задач. Задачи при дешифрировании космо- и аэрофотоснимков условно подразделены на две группы: обобщение информации об участке поверхности Земли и определение различных характеристик отдельных совокупностей объектов, расположенных на поверхности Земли.

К первой группе относятся: гидрография, растительность, дорожные сети населенные пункты и другие элементы, установление взаимосвязей природной среды с техническими системами. Результатом служит – составление или обновление топографических карт и т. п.

Ко второй группе (некоторые из них): геологическое картирование, проведение поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, их эксплуатация, метеорологические исследования, кадастровая съёмка, таксация леса и т. п.

Соответственно для получения дешифровочных данных существует ряд методов получения информации: аэрофотоэлектронные и аэрофотографические [61, 84, 122].

Аэрофотоэлектронные и аэрофотографические методы различаются по двум признакам, являющимися основными:

- по принимаемому электромагнитному диапазону спектра волн,
- по их источнику.

Принципиальная классификация существующих и возможных аэрофотографических и аэрофотоэлектронных методов приведена в таблице 3 составленной Н.С. Рамм с незначительной корректировкой автора настоящей диссертационной работы, для учёта современного вида съёмки.

Существует 3-и основных типа электромагнитного излучения:

- излучение Земли (собственное),
- отражённое солнечное излучение, от земной поверхности,
- излучение, инициированное искусственно (со съёмочного самолёта или космического носителя), отражённое от поверхности земли.

Таблица 3. Классификация аэрофотографических и аэрофотоэлектрических методов (по Н.С. Рамм, с незначительной корректировкой автора настоящей диссертационной работы)

Диапазоны спектра электромагнитных волн		Прозрачность атмосферы	Источник излучения		
			Собственное излучение земли	Отражённое солнечное излучение	Отражённое излучение искусственного источника
Гамма-лучи, 10 ⁻⁴ – 10 ⁻² нм.		Очень слабая	Аэрогамма-съёмка	-	-
Рентгеновские лучи, 10 ⁻² – 10 нм.		Не прозрачная	-	-	-
Ультрафиолетовое излучение	Дальняя зона, 0,01-0,03 мкм	То же	-	-	-
	Ближняя зона 0,30-0,38 мкм	Очень слабая	-	Аэро-УФ съёмка с малых высот (в стадии эксперимента)	-

Продолжение таблицы 3.

Диапазоны спектра электромагнитных волн		Прозрачность атмосферы	Источник излучения			
			Собственное излучение земли	Отражённое солнечное излучение	Отражённое излучение искусственного источника	
Видимое излучение	0,38-0,50 мкм	Удовлетворительная	-	Аэрофото-съемка Космическая фотосъемка Телевизионная съемка Много-зональная съемка фотографическими и сканирующим и системами	Гиперспектральная съемка	Наземная лазерная съемка
	0,05-0,76 мкм	Хорошая				Воздушная лазерная съемка
Инфракрасное излучение	Ближняя зона	0,76-1,2 мкм	Хорошая	Аэроспектро-метрия		
		1,2-3 мкм	Слабая			
Инфракрасное излучение	Средняя зона	3-5 мкм	Хорошая	Аэро- и космическая ИК-тепловая съемка (ночная)	-	-
		5-8 мкм	Очень слабая	-	-	-
	Дальняя зона	8-14 мкм	Хорошая	Аэро- и космическая ИК-тепловая съемка (круглосуточная)	-	-
		14-1000 мкм	Не прозрачная	-	-	-
Микроволновое излучение, 1-1000 мкм	-	Хорошая	Аэро- и космическая РТ- съемка (круглосуточная, всепогодная)	-	РЛ-съемка (круглосуточная, всепогодная)	

Излучение Земли (собственное) фиксируется аэрогаммасъемкой, а также за счет радиотепловой, тепловой и инфракрасной съемками (по сути регистрация внутренних тепловых потоков Земли), процессы протекающие на поверхности (геохимические и биохимические), состоящие из теплового излучения и γ -лучей [75].

В практике инженерно-геологических и гидрогеологических исследований аэрогаммасъемка не применяется.

1.3.1 Современные технологии дистанционного лазерного сканирования

ВЛС представляет собой технологию измерения дальностей от начальной точки (излучателя) до объектов при помощи лазерного дальномера и фиксирования направлений на эти дальности.

ВЛС или LiDAR представляет собой устройство – моностатическую оптическую систему (передатчик и приёмник излучения установлены на едином устройстве, осуществляющему развёртку луча лазера по плоскостям сканирования) [103, 114, 117].

Передатчик генерирует импульс лазерного пучка, который, в свою очередь, попадает на передающую систему. Часть испускаемого импульса применяется для маркирования момента начального отсчёта времени и задания опорного сигнала с контролем длины волны при излучении. Далее, через передающую систему лазерный импульс попадает на блок развёртки, который производит механическое отклонение лазерного луча в направлении, котором задан алгоритмом съёмки. Измерительный световой импульс протекает сквозь атмосферу и отображается от объектов (земная плоскость, растительность, строения и сооружения и т.п.), при данном доля отражённого импульса излучения посылается в обратном направлении на приёмник [103, 125, 167].

Частота работы сканирующего устройства - величина, определяющая число полных циклов работы блока развёртки за одну секунду (Гц). Для вращающейся призмы частота работы сканирующего устройства является постоянной для всего поля зрения сканера и может достигать 200 Гц. За один цикл работы блока развёртки происходит сканирование вдоль одного направления, следовательно, эта величина также определяет количество линий сканирования за одну секунду и оказывает непосредственное влияние на плотность сканирования [103, 125, 167].

Специфика проведения лазерного сканирования (локации) такова, что при движении съёмочного оборудования вдоль объекта генерируется некоторая совокупность лазерных отражений (ТЛО) отображающая достаточно мелкую детализацию сканируемой местности, которая в свою очередь зависит от высоты полёта [75, 103, 167].

В таком случае можем распределить имеющееся оборудование для ВЛС (локации) по получению качественной цифровой модели рельефа, для инженерно-геологических нужд. А именно - по способности отображать детали земной поверхности.

Прежде всего, рассмотрим сканирующие системы по методу измерения (см. таблица 4).

Таблица 4. Принципы измерений наземных и воздушных сканирующих систем.

Принцип измерения	Максимальная дальность измерения, м		Точность определения точки отражения в пространстве, мм	
	Наземный	Воздушный	Наземный	Воздушный
Импульсный	До 3000 м	До 6300 м	До 10-20	От 60
Фазовый	До 100	-	До 10	-
Оптической триангуляции	До 5	-	До 1	-

Технология дешифрирования подразумевает использование специализированного лазерного сканера, так как ВЛС производится для топографо-геодезических целей. Следовательно, данную информацию, полученную для топографических изысканий можно и необходимо использовать в инженерно-геологических целях. Как видно из таблицы 4, на данный момент, больше всего подходит импульсный сканер. Следует учесть, что предлагаемые на рынке сканирующие системы имеют разные точностные характеристики ввиду использования разного материала призм, логических схем, программных продуктов и т.д. Условно можно разделить на два класса по точности съёмки: первый класс – сканирующие системы позволяющие производить съёмку для создания топопланов масштабом 1:1000 м; второй класс – позволяющие производить съёмку для масштаба 1:2000 м. Следовательно, получаемая детализация ЦММ будет различна и возможность выявления ОГП на цифровых моделях рельефа будет так же отличаться.

1.4 Условия и факторы развития современных опасных геологических процессов и их динамика

Формирование современных ОГП подчинено благоприятным для развития природным условиям. Под условиями, Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. понимали *«фиксированный набор структур и свойств литосферы, а также агентов, воздействующих на неё необходимых для его возникновения и развития. Область литосферы, где эти условия существуют, называется областью с неустойчивой структурой по отношению к данному процессу»* [66, с. 20]. Помимо природных условий формирования ОГП, их развитие обуславливается большим количеством факторов. Под термином фактор понимается

«причина, движущая сила какого-либо процесса или явления, определяющая его характер или отдельные его черты» [64, с. 194]. В книге «Инженерная геодинамика» И. П. Иванова и Ю. Б. Тржцинского понимается «под факторами геологического процесса (природного или техногенного) следует понимать набор воздействий, под влиянием которых возникает и развивается этот процесс, происходит разрушение геосреды и переход к новому равновесному ее состоянию» [88, с. 26].

Г. К. Бондарик утверждал, что для развития ОГП необходима область с неустойчивой структурой, но недостаточна [64]. Также необходимо взаимодействие литосферы с внешними земными сферами то есть с их активными элементами (агентами) – атмосферные осадки, биота, водные объекты, солнечная радиация и др.

И. В. Попова предложил разделить все природные факторы на две группы [121]. Первая – региональные геологические факторы. Вторая - зональные геологические факторы. Их особенности и развитие представляет собой совместное влияние геологического строения и климата [148]. Следовательно, любой ОГП возникает благодаря действию определяющей его причиной. Среди некоторого количества факторов присутствует такой, *«который играет главную роль в формировании явления, и его можно назвать основной причиной или спусковым механизмом проявления процесса» [89 с. 26]. По И. В. Попову, «причиной процесса является тот фактор, без которого данный процесс не мог бы возникнуть» [121, с. 50]. Г. К. Бондарик утверждает, что «причиной ОГП всегда является другой процесс, развивающийся во внешней среде (внешняя причина процесса) или внутри геологической среды (внутренняя причина процесса). Чаще всего появление какого-либо ОГП вызвано рядом причин, среди которых могут быть как внешние, так и внутренние» [67, с. 218].*

В формировании ОГП отводится большая роль тектонике (т. е. сейсмичности), они обуславливают формы рельефа и инициируют ЭГП [111]. Эндогенные процессы обуславливают формирование горных систем (поднятия и впадины), а также различные деформации литосферы. В зависимости от крутизны уклонов и условий климата образуется определенный комплекс экзогенных процессов (денудации и аккумуляции) [6].

Тектоника в полной мере оказывает влияние на развитие ЭГП. Древние тектонические структуры в большинстве случаев не активны (являются пассивными), элементы неотектоники в них отсутствуют. Движения, связанные с неотектоникой проявлены в виде несогласий к структурам образованным в палеозое, мезозое и раннем кайнозое. Отсюда именно неотектоника является фактором, указывающим на характер и направленность ЭГП [96, 101]. Более существенным показателем влияние разрывов на экзогенные процессы отражается в сейсмогравитационных явлениях: сейсмогенные обвалы, оползни, осыпи, грязекаменные потоки и другие процессы [149, 151].

1.5 Прогноз появления, активизации опасных геологических процессов

Одной из наук изучающей прогноз появления и активизации, современных ОГП инженерная геодинамика. В 1975 г. системный подход прогнозов ОГП разработанный ВСЕГИНГЕО заключался в рассмотрении системы в целом как единая функция эквивалентной системы [65].

Все факторы, обуславливающие развитие ОГП, при некоторых допущениях разделялись на 3-и группы: имеющие быстрое изменение, медленное изменение и неизменные (постоянные) [105]. Первая группа – геологические и геоморфологические условия. Определяют генетические особенности ОГП и интенсивность их проявления. Вторая группа – на новейшие тектонические движения и условия климата. Тенденция развития ОГП. Третья группа – метеорологические, гидрологические, сейсмические и хозяйственная деятельность. Определяют режим активизации ОГП. Включает – УГВ, физико-механические свойства грунтов и т. д.

В инженерной геологии и геоэкологии прогноз современных ОГП заключается в определении их типа, географической позиции, масштаба, скорости протекания и времени появления. Отсюда прогноз разделяется на: пространственную (качественную), и оценочную (метрическую) [65, 88, 105] таких как:

- Районирование территории по фактической интенсивности проявления ОГП [82, 153].
- Метод геодинамического потенциала.
- По методу упорядоченной классификации элементарных участков [64].
- По отношению ко времени [154].

Общая схема временных прогнозов ОГП (ЭГП) приведена на рисунке 2.



Рисунок 2. Общая схема временных прогнозов ЭГП (Оползни и сели, 1984).

В разные годы ученые, такие как В. И. Вернадский (в 1950 г.), Е. М. Сергеев (в 1963 г.), И. В. Попов (в 1970 г.), А. В. Котлов (в 1970 г.) обосновывали необходимость проведения футурологических прогнозов (прогнозы наступления активности или появления ОГП).

Футурологический прогноз – это сложнейшая задача в разделе инженерной геодинамике. На данный момент возможность изучения ОГП заключается в вероятности появления или активизации с учетом их цикличности и множества определяющих факторов.

ГЛАВА 2 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

2.2 Основные принципы дешифрирования опасных геологических процессов

Дешифрирование рельефа. При исследовании рельефа с точки зрения инженерной геологии рассматривается с двух направлений – как один из компонентов и как их индикатор (индикатор при гидрологических и гидрогеологических исследованиях) [18].

Рельеф это сложное взаимодействие эндогенных и экзогенных сил, как отмечали в своих трудах А. Кайе и Ж. Трикар, выполняющая роль границы между литосферой и атмосферо- и криосферами [18].

«Эндогенные силы, проявляющиеся главным образом в форме тектонических движений, приводят к образованию наиболее крупных форм рельефа – гор, равнин, межгорных котловин и др.» [18, с 16]. Поскольку закономерности пространственного распределения тектонических движений контролируются строением земной коры – положением различных геологических структур (щитов, плит, складчатых сооружений), – то и образующиеся формы рельефа отвечают (по пространственному положению и особенностям строения) крупным геологическим структурам. Они представляют собой отображение этих структур в рельефе. *«В связи с этим такие крупные формы рельефа, созданные тектоникой, в литературе иногда называют морфоструктурами»* [Герасимов, 1964].

Экзогенные – проявляются в выветривании, денудации и аккумуляции приводящие к новым формам рельефа [18]. *«Такие более мелкие формы рельефа, образовавшиеся в результате процессов денудации и аккумуляции, иногда называют морфоскульптурами»* [Герасимов, 1964].

В результате совместного воздействия экзогенных и эндогенных процессов формируются закономерные пространственные сочетания форм рельефа, получившие наименование типов рельефа. Хотя в этот термин входит слово «тип», это не означает, что понятие «тип рельефа» можно использовать только как классификационную

(таксономическую) категорию. Задачам дешифрирования наиболее полно отвечает классификация рельефа, построенная на морфогенетической основе, т.е. с использованием признаков, которые характеризуют как морфологию рельефа, так и его генезис, поскольку такой подход предусматривает одновременно опознание типов рельефа на местности, ЦАФС или ЦКФС (морфологический принцип) и использование их в индикационных целях (генетический принцип).

Формы рельефа классифицируются также по их размеру. В дальнейшем изложении рельеф рассматривается согласно следующим категориям: мега-, макро-, мезо- и микроформы.

Для полноты описания рельефа кроме двух приведенных выше категорий выделяют также «части форм рельефа», к ним относятся водоразделы, склоны, подошвы склонов и др. [56, 57].

На выделении типов, форм и частей форм рельефа построено в основном его дешифрирование при инженерно-геологических исследованиях, применяются и специализированные (морфометрические) показатели [56, 57].

К основным морфометрическим показателям отнесены – превышения, размеры углы наклона [56, 57]. Предложены и комплексные показатели, например, как эрозионное расчленение (густота и глубина) [56, 57]. Применительно к оценке густоты расчленения применяется коэффициент расчлененности территории – длина эрозионных врезов, на единицу площади. Этот показатель можно достаточно просто определить по аэроснимкам; он отличается наглядностью, исчисляется в удобных единицах и позволяет выявить важные для индикации пространственные закономерности. Однако он имеет несколько условный характер, так как чем крупнее масштаб используемых ЦАФС, тем более мелкие эрозионные врезы будут учитываться при вычислении этого коэффициента. Поэтому любые сопоставления по этому показателю возможны только в том случае, если используют ЦАФС одного масштаба.

Для оценки глубины расчленения в качестве показателя используется среднее превышение водоразделов над местными базисами эрозии, дополняемое соответствующими стандартными отклонениями.

Дешифрирование ОГП. На всех этапах исследований, начиная с инженерно-геологической съемки и заканчивая проектом, большое внимание уделяется изучению ОГП, в первую очередь ЭГП – карста, оползней, эрозии, селей и др., и в известной мере эндогенных – землетрясений (точнее их проявлений).

Дешифрирование ЦКФС и ЦАФС позволяет установить типы и виды процессов согласно принятым в инженерной геологии классификациям, формы проявления процессов,

область распространения, стадию развития, влияние на окружающую среду, воздействие на инженерные мероприятия и сооружения. Аэрокосмические методы дают ценную информацию о факторах и условиях, порождающих и контролирующих геологические процессы, а также о современной их динамике. Важной задачей, в решении которой аэрокосмические методы призваны сыграть большую роль, является оценка территорий с точки зрения опасности развития тех или иных геологических процессов при их хозяйственном и инженерном освоении.

Экзогенные процессы, являющиеся, как отмечено выше, главным объектом инженерно-геологического изучения, важнейшими факторами, определяющими возникновение и контролирующими развитие геологических процессов, являются: климат, рельеф, литологическое строение, неотектонические движения их активность и направленность, степень сейсмоактивности территории. В соответствии с этим в пределах площадей, различающихся по таким признакам, развивается характерный комплекс ОГП. Изменяются также условия и в некоторой степени факторы, контролирующие развитие процессов, а вместе с ними и набор ландшафтных индикаторов, которые можно использовать при их дешифрировании.

Перед началом дешифрирования ОГП необходимо в первую очередь ознакомиться с материалами, характеризующими природные условия территории, ее геологическое строение и другие перечисленные выше факторы. Это позволит существенно ограничить круг возможных геологических процессов, заранее предсказать наиболее вероятные формы их проявления и некоторые другие характеристики, а также наметить состав индикаторов, которые целесообразно использовать при дешифрировании. В результате можно осуществить дешифрирование ОГП более целенаправленно и эффективно.

Первым в ряду факторов, определяющих развитие ОГП, следует поставить рельеф, поскольку подавляющее большинство геологических процессов в той или иной степени связано с гравитацией. По этой причине равнины и горные сооружения, а также различные типы последних, характеризуются существенно различным «набором» геологических процессов. Большого внимания заслуживает оценка влияния климата, поскольку в литературе по инженерной геологии этот вопрос обычно рассматривается в самом общем виде.

Пространственные изменения климатических условий на территории РФ приводят к выделению на равнинах зон, а в горах – высотных поясов. Каждая из таких территориальных единиц обладает своим балансом тепла и влаги и в силу этого характеризуется также определенным, ограниченным по разнообразию «набором» геологических процессов со специфическими закономерностями развития.

При дешифрировании рассматриваются в этом плане отдельные климатические зоны, выделяемые на территории Российской Федерации.

На Крайнем Севере территории страны где расположены острова полярного бассейна, тянется зона арктических пустынь. Это самая суровая по климатическим условиям часть территории РФ с отрицательным радиационным балансом и сплошным развитием многолетнемерзлых пород. В течение непродолжительного теплого летнего периода мерзлые породы успевают оттаять здесь только в маломощном приповерхностном слое. Из геологических процессов в этой зоне развито в основном морозное выветривание, приводящее к дезинтеграции даже весьма прочных скальных пород на грубый обломочный материал, при весьма умеренном накоплении мелкозема. Известную роль играет также нивация, развивающаяся по периферии снежников. Прочие мерзлотные процессы, связанные в той или иной степени с явлениями промерзания – оттаивания (пучение, солифлюкция, термокарст и др.), здесь почти не развиты, также, как и процессы, связанные в своем развитии с деятельностью поверхностных и подземных вод и ветра. В горных районах наблюдаются осыпи и образования курумов. Таким образом, эта зона характеризуется небольшим разнообразием геологических процессов, среди которых ведущая роль принадлежит многолетнему промерзанию пород и морозному выветриванию.

Расположенная южнее зона тундры обладает несколько более теплым климатом, особенно в пределах секторов, где сказывается влияние Атлантического или Тихого океана (Восточно-Европейский, Западно-Сибирский и Тихоокеанский). Это вызывает существенную активизацию здесь процессов физического, а в некоторой степени и химического выветривания, которые сопровождаются образованием значительных по мощности толщ не только грубообломочного, но и тонкого песчано-пылеватого материала. Значительно возрастает роль явлений промерзания – оттаивания, что приводит к развитию таких процессов, как нивация, пучение, термокарст, солифлюкция (особенно в Тихоокеанском секторе), морозное растрескивание грунтов и др. В Восточно-Сибирском секторе, где климат отличается наибольшей суровостью и континентальностью, эти процессы выражены слабее. Открытые незалесенные пространства создают благоприятные условия для деятельности ветра, который переносит вместе со снегом значительные массы тонких продуктов выветривания. Менее активно проявляется деятельность поверхностных вод, что связано с краткостью безморозного периода. Сравнительно интенсивно развивается карст, чему способствуют слабая минерализация грунтовых вод, кислый их состав и высокое содержание углекислоты. Избыточное увлажнение приводит к заболачиванию территории, но при сравнительно небольших мощностях торфа.

Таким образом, зона тундры характеризуется преимущественным развитием многолетнего промерзания пород с сопутствующими мерзлотными и мерзлотно-гравитационными процессами, морозным выветриванием, заболачиванием и эоловыми процессами.

Климат зоны лесов отличается значительной неоднородностью. На западе и востоке, где сказывается влияние Атлантического и Тихого океанов, он относительно мягкий и влажный, в центральных районах – значительно более суровый и сухой. Это существенно сказывается и на характере развивающихся здесь геологических процессов.

В пределах Восточно-Европейского и Тихоокеанского секторов, где климат наиболее мягкий, наблюдается заметная активизация процессов химического и особенно биохимического выветривания, что приводит к формированию тонких песчано-пылевато-глинистых продуктов выветривания, содержащих вторичные глинистые минералы. Залесенность территории заметно снижает деятельность ветра, но одновременно активизируются эродирующая, транспортирующая и аккумулятивная деятельность поверхностных вод. Однако значительного развития эрозионные процессы здесь еще не достигают, чему препятствует лесная растительность. Широко развито заболачивание, притом с накоплением значительно более мощных толщ торфа, чем это имело место в зоне тундры. В районах распространения карбонатных пород интенсивно развивается карст. В глубоких эрозионных врезках наблюдаются оползни. Многолетнее промерзание пород и сопутствующие мерзлотные процессы в Восточно-Европейском секторе развиты только на небольшой площади в пределах Печорской низменности, в Тихоокеанском секторе значительно шире (почти полностью охватывают северную и центральную части зоны лесов).

В пределах Западно-Сибирского сектора климат более суровый, континентальный с резко выраженным избыточным увлажнением. Это приводит, с одной стороны, к широкому развитию здесь многолетнего промерзания пород со всеми сопутствующими процессами (пучение, термокарст, растрескивание пород с образованием клиновидных льдов и др.), с другой – к исключительно интенсивному заболачиванию территории.

Восточно-Сибирский сектор отличается еще более суровым, резко континентальным, по одновременной более сухим климатом. Это область не только повсеместного развития мерзлых пород, но и исключительно активного морозного выветривания, приводящего к образованию скоплений крупнообломочного материала и развитию гравитационных и мерзлотно-гравитационных процессов.

Наконец, юг европейской части страны и Западной Сибири, большая часть Средней Азии и Забайкалья заняты зонами степей, полупустынь и пустынь с умеренно или резко континентальным, теплым или жарким климатом. Если в северных районах этих территорий

характер геологических процессов еще напоминает лесную зону, а эрозионные процессы достигают здесь даже максимального развития (например, в некоторых районах Южного и Северо-Кавказского Федеральных Округов), чему способствует открытый характер территории и преобладающее развитие легко размываемых пород, то южнее картина заметно изменяется. Вновь повышается роль физического выветривания с образованием грубообломочных и песчаных разностей отложений. Возрастает также роль эоловых процессов и снижается деятельность текучих вод. В отличие от северных районов, где в условиях избыточного увлажнения наблюдается промывной режим зоны аэрации с выщелачиванием и вымыванием всех растворимых солей, в полупустынной и пустынной зонах существенную роль приобретают процессы засоления грунтов с образованием различного типа солончаков. Дефицит влаги приводит также к неполному водонасыщению грунтов и развитию таких процессов, как просадки, «глинистый карст», которые в более северных районах не наблюдаются. Здесь также развиты карст и оползни, но только в особо благоприятных условиях.

Таким образом, южные районы страны (зоны лесостепей, степей, полупустынь и пустынь) являются областью развития засоления грунтов, просадочных явлений, эоловых процессов, что характерно для жаркого континентального климата с дефицитом осадков.

Как видно из приведенного краткого обзора, каждая зона, а при более детальном рассмотрении и провинции (т.е. участок зоны в пределах сектора) характеризуются своим парагенезом геологических процессов, тесно связанных с особенностями климатической обстановки. Одни из этих процессов наблюдаются только в пределах какой-либо одной климатической зоны, другие – в пределах нескольких соседних зон и, наконец, есть такие, которые протекают во всех зонах, например: эрозия, карст, оползни и некоторые другие. В последнем случае влияние зонально-климатического фактора сказывается в относительной частоте, интенсивности и формах проявления этих процессов. Так, в зонах с повышенным увлажнением широко развиты такие типы оползневых смещений, как сплывы, оползни-потоки; в зонах с засушливым климатом они практически не встречаются.

В горах существенную роль играет высотная климатическая поясность, определяющая распределение геологических процессов в вертикальном профиле.

Существенное, а иногда и определяющее влияние на развитие геологических процессов оказывает геологическое строение территории: состав отложений, условия их залегания (тектоника), трещиноватость, наличие разрывных нарушений. Так, состав отложений определяет развитие карста (карбонатные, галогенные породы), оползней (в большинстве случаев глинистые породы), просадочных явлений (лёссовые породы). Состав отложений сказывается также на развитии эрозии, абразии, эоловых и других процессов.

Условия залегания, трещиноватость и разрывные нарушения способствуют развитию обвалов, оползней и других гравитационных процессов. Таким образом, предварительное изучение геологического строения территории также может существенно облегчить дешифрирование геологических процессов.

На развитии современных геологических процессов заметно сказываются современные тектонические движения (направление, интенсивность, градиенты) и проявления сейсмичности, поэтому они также должны быть оценены перед началом дешифрирования (например, по существующим картам и другим материалам).

Последовательный учет перечисленных факторов позволяет существенно ограничить круг возможных геологических процессов, но еще более успешно эта задача может быть решена на основе выделения различных типов ландшафтов, поскольку каждый тип ландшафта характеризуется своим, достаточно устойчивым парагенезом геологических процессов. Так, для ландшафтов лёссовой равнины характерно развитие таких процессов, как плоскостной смыв, струйчатая эрозия, оврагообразование, просадочные явления, для ландшафтов песчаных пустынь Средней Азии – развевание и перевевание песков, коррозия, вторичное засоление и т. п.

Поэтому составление ландшафтной карты позволяет;

а) заранее предвидеть, какие геологические процессы можно встретить в пределах той или иной выделенной на карте территориальной единицы;

б) более уверенно дешифрировать проявления отдельных геологических процессов и более полно их характеризовать;

в) устанавливать связь геологических процессов с определенными сочетаниями природных компонентов, что имеет большое значение для составления различных инженерно-геологических прогнозов;

г) выбирать ландшафтные индикаторы для дешифрирования геологических процессов с учетом особенностей природной обстановки.

Отдельные типы ландшафтов характеризуются также различной степенью устойчивости по отношению к антропогенным воздействиям и разной реакцией на эти воздействия, в связи с чем выделение ландшафтов дает возможность также предсказать, какие процессы могут возникнуть на исследуемой территории при осуществлении тех или иных хозяйственных и инженерных мероприятий.

При дешифрировании проявлений геологических процессов используются комплексные и частные индикаторы. Поскольку почти каждый геологический процесс (эрозия, карст, оползни и др.) приводит к образованию характерных форм рельефа, наибольшее значение имеют геоморфологические индикаторы (см. таблицу 5).

Существенную помощь оказывают геоботанические индикаторы, так как состав и состояние растительного покрова часто бывают связаны с развитием различных геологических процессов. Нередко на основании этого признака удается установить стадию развития процесса и степень его современной активности. Известную информацию дают и другие группы индикаторов, в частности антропогенные.

Отдельные проявления геологических процессов уверенно дешифрируются на ЦАФС крупного и среднего масштабов, а в некоторых случаях (крупные оползни, обвалы, осыпи и пр.) и на ЦАФС мелкого масштаба. Кроме того, на ЦАФС мелкого масштаба и ЦКФС хорошо различимы участки, где наблюдается площадное развитие геологических процессов – плоскостной эрозии, оврагообразования, развевания песков, открытого карста и некоторых других.

Самостоятельной и важной задачей является изучение динамики геологических процессов. Здесь большую помощь оказывают повторные аэро- и космические съемки при достаточно большом интервале между ними (обычно несколько лет), что позволяет зафиксировать все изменения, которые происходят за это время в районе исследований.

Таблица 5. Признаки, используемые при инженерно-геологическом (гидрогеологическом) дешифрировании (по Гудилину И.С., Комарову И.С. 1978)

Дешифровочные признаки						Основные природные условия, учитываемые при инженерно-геологическом (гидрогеологическом) дешифрировании	
Прямые		Косвенные					
		Частные		Комплексные			
Группа признаков	Характеристика	Группа признаков	Характеристика	Группа признаков	Характеристика	Группа признаков	Характеристика
Геометрические	Плановая и объемная (при стереоскопическом изучении) форма объектов Размеры объектов в плане; относительная высота объектов, уклоны поверхности земли (при стереоскопическом изучении)	Геоморфологические	Тип и формы рельефа, части форм рельефа, различные морфологические и морфометрические характеристики	Структура ландшафтной оболочки	Закономерности смены пространственного распределения и количественного соотношения природно-территориальных комплексов разных рангов (ландшафтов, фаций), строение речной сети, характер хозяйственного освоения территории	Климатические Современные	Климатическая зона, подзона, сектор. Радиационный баланс. Средне многолетние климатические характеристики. Индекс сухости
		Геоботанические	Характер, строение и состояние растительного покрова. Растительные сообщества и растения-индикаторы			Палеоклиматические	
Оптические	Тон изображения на черно-белых и цвет на цветных и спектрональных снимках	Гидрографические	Форма, густота, разветвленность и другие характеристики гидрографической сети, заозеренность территории, типы озер, особенности отдельных водных объектов	Физиономические комплексы разного ранга	Различие сочетания рельефа, растительных сообществ, почв и водных объектов, образующих внешнюю часть природных комплексов	Геологические Структурно-тектонические	Основные геоструктурные особенности территории (платформа, плита, горно-складчатое сооружение и пр.)
Отбрасываемые тени	Размер, форма распределения теней			Парагенетические сочетания и ряды			

Продолжение таблицы 5.

Прямые		Дешифровочные признаки				Основные природные условия, учитываемые при инженерно-геологическом (гидрогеологическом) дешифрировании	
		Косвенные					
		Частные		Комплексные			
Группа признаков	Характеристика	Группа признаков	Характеристика	Группа признаков	Характеристика	Группа признаков	Характеристика
Структура фотозображения	Закономерности пространственного распределения участков различного тона (цвета), микроструктуры и сети линий разной толщины, тона, извилистости (реки, дороги, каналы)	Почвенные	Пространственные закономерности строения почвенного покрова, характерные типы, виды и разновидности почв, степень сохранности почвенного покрова			Историко-геологические	Основные этапы геологического развития района, развитие современных геологических процессов и пр.
			Антропогенные			Степень и характер хозяйственного освоения территории, густота дорожной сети, карьеры строительных материалов, мелиоративные сооружения, характерные промышленные предприятия (кирпичные заводы, торфоразработки)	Неотектонические
						Сеймотектонические	Сейсмическая активность, данные о землетрясениях, наличие сейсмогенных разрывов и палеосейсмодислокаций
						Геокриологические	Зона по схеме геокриологического районирования СССР, данные о строении и температурном режиме мерзлых толщ

Это относится не только к тем или иным проявлениям процесса (например, образованию новых карстовых форм, оврагов, оползневых смещений), но и ко всем природным и антропогенным факторам. Кроме того, в данном случае фиксируемые изменения привязаны не к точкам и створам, как это обычно имеет место при наземных стационарных наблюдениях, а ко всей площади в целом, что дает большой статистический материал и существенно повышает надежность различных выводов и обобщений. Материалы ряда повторных съемок позволяют составить кинематические модели процесса (например, в форме зависимости изменения того или иного параметра процесса от времени), т. е. подойти к решению одной из наиболее сложных задач инженерной геологии – составлению прогнозов развития геологических процессов во времени.

Перейдем теперь к оценке возможностей использования аэрокосмических методов для изучения отдельных геологических процессов. Воспользуемся при этом классификацией, приведенной в таблице 6.

Таблица 6. Классификация важнейших геологических процессов (по Гудилину И.С., Комарову И.С. 1978)

Класс процессов	Тип процессов	Вид процессов
Экзогенные	Связанные с совокупным воздействием температурных колебаний, атмосферы, поверхностных вод, биогенных компонентов	Физические и химические выветривания
	Связанные с деятельностью льда и снега	Ледниковая экзарация, нивация
	Связанные с деятельностью поверхностных вод	Плоскостной смыв, линейная и речная эрозия, переработка берегов естественных водоемов и водохранилищ, сели, заболачивание, засоление грунтов
	Связанные с деятельностью подземных вод	Карст, суффозия (в том числе «глинистый карст»), просадочные явления в лёссовых породах

Продолжение таблицы 6.

Класс процессов	Тип процессов	Вид процессов
	Связанные с деятельностью ветра	Почвенная ветровая эрозия, развевание, перемещение и отложение песков
	Гравитационные процессы	Оползни, обвалы, образование осыпей, курумы
	Мерзлотные процессы	Многолетнее промерзание пород, пучение, морозное растрескивание грунтов с образованием полигональных льдов, термокарст, термоабразия, наледи, солифлюкция
Эндогенные	Связанные с глубинными силами земли	Землетрясения

Рассмотренные основные принципы дешифрирования по данным ЦАФС и ЦКФС не позволяют получить четкую картину распространения ОГП на залесенных территориях и территориях с горно-складчатыми структурами в полной мере. Учитывая, что при ЦАФС и ЦКФС получаемые фотограмметрические модели не отображают в должной мере микроформы рельефа, отображающие составные части того или иного ОГП особенно в залесенных и горных районах, необходимые для декодирования (поиска), интерпретации (определения вида) и определения качественных и количественных характеристик. Получаемая ЦМР и/или ЦММ при ВЛС отображает с высокой детализацией поверхность рельефа и всех его структурных элементов. Следовательно, принципиальное отличие от имеющихся методик позволяет проводить дешифрирование ОГП с высокой достоверностью используя прямые признаки отображающие границы, структурные и текстурные особенности, говорящие об активности того или иного ОГП.

2.1 Изученность вопроса

Первоначальное применение метода фотографирования местности с воздуха было в XIX веке. Данный метод, получил название «фотографирование с летательного аппарата», позже в XX веке при расширении спектра методов появилось название «Дистанционные методы», далее, в середине XX-го века в эру космонавтики появилось общее название

«Дистанционное зондирование Земли» включившее в себя новые методы аэрокосмического изучения Земли.

Первое проведение фотографирования земной поверхности произведено во Франции в 1855 году для составления плана города Париж с воздушного шара (Г.Ф. Торнакон, 1855). А в 1858 году французским геологом Эме Циваль был предложен метод фотографирования для изучения геологии, так с 1858 по 1882 гг. им производилось фотографирование Альпийских гор с высоких вершин для выделения на получившихся фотографиях геологических границ [7].

Российская Империя в 1886 году начала применять метод фотографирования с летательного аппарата, первопроходцем был А.М. Кованько, выполнивший фотографирование Санкт-Петербурга. Развитие технологий фотографирования, основоположником которого был русский инженер В.М. Потте, создавший первый в мире пленочный фотоаппарат для аэрофотосъемки, позволило провести в 1918 году первую в России аэрофотосъемку, в районе города Тверь [7].

Послереволюционная Советская Россия с 1925 года начинает проведение систематических аэрофотосъемок для целей составления топографических карт ранее неизученных территорий. Созданный в бывшем Санкт-Петербурге, далее Ленинграде Ленинградский НИИ аэрофотосъемки в 1929 году внес значительный вклад в развитие аэрометодов в геологии, после разработки методов и методик становится очевидным практическая значимость и эффективность применения вышеуказанных методов [7].

По итогам Ленинградского НИИ аэрофотосъемки в начале 30-х годов XX-го века по инициативе академика А.Е. Ферсмана применение аэрофотосъемки для геологии становится повсеместным при исследовании территории бывшего СССР. Аэрофотосъемка применяется при изучении нефтеносных районов Ферганы и республики Азербайджан. В 1933 году академиком С.В. Обручевым аэровизуальные геологические наблюдения проводились в Восточной Сибири. Начиная с 1931, года происходит повсеместное создание научных и производственных организаций, специализирующихся на изучении и применении результатов аэрофотосъемочных работ практически во всех областях хозяйственной деятельности, включая различные геологические работы. Разрабатываются рекомендации, методические пособия, издаются монографии справочники обобщения опыта применения и учебники для средних и высших учебных заведений [3, 9, 11, 12, 13, 75, 100, 107, 116]. Космическая эра дала толчок развития новых методов изучения Земли [4, 5, 7, 8, 59, 62, 63, 69, 74, 79, 81, 83, 86, 93, 95, 110, 125, 152].

Зародившаяся инженерная геология как наука трактовалась Ф.П. Саваренским получило следующее определение: *«Инженерная геология является отраслью геологии,*

трактующей вопросы приложения геологии к инженерному строительному делу» [Саваренский, 1937].

Открывшаяся кафедра инженерной геологии в 1929 году в ЛГИ, а затем в МГРИ (1932) и МГУ (1938) дали новое направление аэрометодам – применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. Дальнейшее развитие аэрометодов отображено в трудах В.М. Валяха, Е.Г. Чапосвского (1977); И.С. Гудилина, И.С. Комарова (1978); А.Л. Ревзона, А.В. Садова, Ф.Н. Чалидзе (1976) и др. [70, 71, 72, 73, 75, 122, 123, 124].

Дистанционными методами изучаются также воздействие техногенных процессов, связанных с нарушением природоохранных технологий при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, при добыче полезных ископаемых (в том числе в прибрежно-шельфовой зоне), строительстве водохранилищ, коммуникаций и других инженерных сооружений, ведении сельского и лесного хозяйства.

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

Общие сведения о применении аэро- и космических методах фотографирования и получения информационных материалов отображены в монографиях [97, с 102] В. Миллера и К. Миллера (1964); М.Н. Петрусевича (1976); Физические основы и технические средства аэрометодов (Большая Советская Энциклопедия 1967); Космическая фотосъемка и геологические исследования (Гонин Б.Г. и др. 1975); А.Е. Михайлова, Н.С. Рамм (1975); Я.Г. Кац, А.Г. Рябухина, И.И. Сониная, Д.М. Трофимова (1976); М.Н. Петрусевича, Л. И. Казик (1976); И. С. Гудилина, И.С. Комаров (1978); Ш.М. Дейвиса и др. (1978); Н.П. Лавровой (1983); Визуально-инструментальные исследования Земли с пилотируемого космического комплекса (Савиных В.Д. 1991); Е. Н. Сутыриной (2013), М.И. Ботовым, В.А. Вяхиревым (2013) и др. [64, 68, 75, 80, 85, 91, 99, 106, 107, 117, 118, 145,].

Основными методами ДЗЗ при исследовании геологической среды и её мониторинге, являются: фото и съемка, спектрзональная, монохромная (в инфракрасном спектре) тепловая и радиолокационная. Время показало, что имеющиеся методы в той или иной степени информативны при оценке ПТС, изучении динамики, поиске ореолов загрязнений, и т. д.

Выше рассмотренные методы ДЗЗ имели место применения в исследованиях территории при её освоении, данные методики освещены трудами С. В. Викторова, А. В. Садова, А. Л. Ревзона и др. и включены в нормативно-методические руководства.

Различные варианты аэро- и космосъемки в ходе мониторинга позволяют своевременно обнаруживать развитие на Земле многих опасных ОГП, в частности таких, аварийные загрязнения почв, горных пород и подземных вод при авариях на

нефтепроводов, развитие процессов эрозии почв, опустынивания, заболачивания и подтопления территорий, развитие наводнений и паводков и т. д. Дистанционные геофизические методы позволяют изучить природные и техногенные аномалии различных геофизических полей Земли (электромагнитного, магнитного, теплового, химического, радиационного, гидродинамического и др.), построить карты этих аномалий с выявлением особо опасных зон (участков).

Аэрофотосъемка проводится с различных пилотируемых ЛА так называемых летающих лабораторий. Для съемки небольших площадей, населенных пунктов, линейных объектов (трубопроводов, дорог и т. п.) применяют более дешевые в эксплуатации и доступные легкие пилотируемые ЛА и БПЛА, оборудованные цифровыми фотокамерами пригодными для данного вида работ и обеспечивающие проведение работ на малых высотах.

В настоящее время среди множества дистанционных методов, успешно применяются ЦМАФС, ЦГАФС и ЦМКФС, ЦГКФС при мониторинге геологической среды, в том числе ПТС. Снимки производятся в различных спектральных диапазонах получая некий синтаксис (почвы, поверхности водные и др.). Дешифрирование аэро и фотосъемки, на данный момент, приобрело некоторую автоматизацию.

«Одна из таких систем автоматического дешифрирования ЦАФС и ЦКФС разработана на географическом факультете МГУ В. И. Кравцовой» [97 с. 106]. Также вариант автоматизированной обработки аэрофотоснимка был предложен А. П. Камышевым (см. таблицу 7) [106].

Таблица 7. Технологическая схема компьютерной обработки аэрокосмической и картографической информации (по А. П. Камышеву, 1999) [97 с. 106].

Этапы компьютерной обработки информационных ресурсов	Основные операции	Содержание основных операций
Первичная обработка	Ввод растрового изображения (снимки, карты). Ввод векторных изображений (карты)	Трансформирование снимков с целью приведения к заданной проекции
Преобразование изображений и классификация	Создание контурной основы. Масштабная генерализация контуров. Разработка системы условных обозначений	Автоматизированная сегментация изображений по спектральным характеристикам. Автоматизированная сегментация по рисунку изображения. Фильтрация сегментов. Цветовое кодирование. Количественная оценка характеристик элементов и свойств изображений
Сопоставление с картографическими данными и точками опробования	Сопоставление растровых, векторных изображений и увязка с данными наземных изысканий. Количественная оценка связи содержания контурной информации и данных наземных изысканий	Наложение растровых и векторных изображений. Статистический анализ взаимосвязи дистанционных и наземных данных
Формирование выходных данных и документов	Вывод ЦММ: снимков; компьютерных карт; текстовых табличных и графических элементов, формирующих базы данных	Обеспечение хранения продукции. Вывод продукции на оптические, магнитные носители, а также на локальные сети. Изготовление твердых копий

Среди дистанционных методов, применяемых при контроле больших площадей или линейных объектах, особое место занимает тепловая съемка (средние и дальние диапазоны). Теплота, представляющая собой рассеяние энергии отражающая воздействие техногенного влияния, на геологическую среду являясь частью теплового поля приуроченного к приповерхностной зоне литосферы, применение тепловой съемки отображено в работах Б. В. Шилина (1980), И.М. Назарова (1983), Б. В. Виноградова (1984), А. И. Антыпко (1989), и других [75].

В 1982 году ГНПП «Аэрогеология» проводились экспериментальные работы по мониторингу геологической среды на основе тепловой съемки в Москве, ее области, и других городах.

В ГНПП «Аэрогеология» накоплен большой опыт работ по дистанционному исследованию территорий в целом. Для оценки тенденций и динамики процессов в ГНПП «Аэрогеология» используются разновременные аэро- и космические снимки —

многозональные, инфракрасные тепловые, СВЧ-съемка. Для обработки используются фотограмметрические приборы с автоматизированным циклом измерений. Составляются детальные карты динамики и прогноза развития ОГП, служащие основой для разработки схем мониторинга, планирования защитных мероприятий и подсчета экономических затрат.

Радиолокационная съемка (РЛС), выполняемая в СВЧ-диапазоне, дает возможность производить наблюдения за изменением влажности почвы и поверхностного слоя грунта, а также УГВ.

С 1990-х гг. в России велась работа в направлении экологического мониторинга с применением космических регистрационных средств с развертыванием региональных центров приема и сбора информации [97]. Разрабатывался проект Соглашения между Госкомэкологией России и Росавиакосмосом об использовании средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в интересах решения природоохранных задач.

Первое применение ВЛС в России зафиксировано в 2003 году компанией «Геокосмос». Для съемки использовались лазерный локатор ALTM-2050 и цифровой фотоаппарат KODAK 760. Главным результатом данных работ было подтверждение возможности применения ВЛС.

За рубежом начиная с 2009 года публикуются работы по изучению опасных геологических процессов [156, 159, 160, 163, 168, 169, 171, 173, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181]. Применение лазерных сканирующих систем нашло во многих странах практическое применение как при топографических работах, так и при изучении динамики поверхности земли [155, 156, 157, 158, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 170, 172, 174].

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 [20, 56]. 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» [17, 18, 25, 51].

На протяжении семи лет автором настоящей диссертационной работы, начиная с 2010 года, производились исследования и публиковались результаты применения решений разработанных на основе проведенных исследований [15, 18, 22, 23]. Разработанные автором

настоящей диссертационной работы методики заняли достойное место среди методов ДЗЗ (таблица 3), так как в первые появилась возможность изучать земную поверхность, покрытую растительностью, что раньше при применении других методов было невозможным.

2.3 Основные принципы организации мониторинга дистанционными методами

Системные наблюдения за ОГП учитывает генетические факторы и факторы развития процессов. Закономерности и факторы развития геологических процессов определяются исходя из *«основного закона геодинамики: морфология, механизм и масштаб современных природных и антропогенных (инженерно-геологических) геологических процессов определяются инженерно-геологическими особенностями верхних горизонтов литосферы и её взаимодействием с внешними средами, включая техногенное воздействие»* [Королёв 2007].

Структура мониторинга геологической среды и ПТС является индивидуальной, в связи с чем подлежит не шаблонной разработке проекта, жесткое регламентирование не приведёт к качественному проведению работ. *«Создание мониторинга – это творческая разработка, основывающаяся на определенных требованиях и использующая весь арсенал имеющихся методических разработок как общих, так и ведомственных»* [Королёв 2007].

В общей структуре мониторинга литологической системы, согласно В. К. Епишину и В. Т. Трофимову (1985) (см. рисунок 3), существует однообразие представления проведения мониторинга геологической среды, а также природно-технической и эколого-геологической систем.



Рисунок 3. Структурная схема литомониторинга (по В. К. Епишину, В. Т. Трофимову, 1985).

Основными структурными элементами в мониторинге являются: функциональная система, иерархическая система и т.д. (см. рисунки 4 и 5).

В предложенных системах производится объединение объектов изучения и наблюдения во время мониторинга.

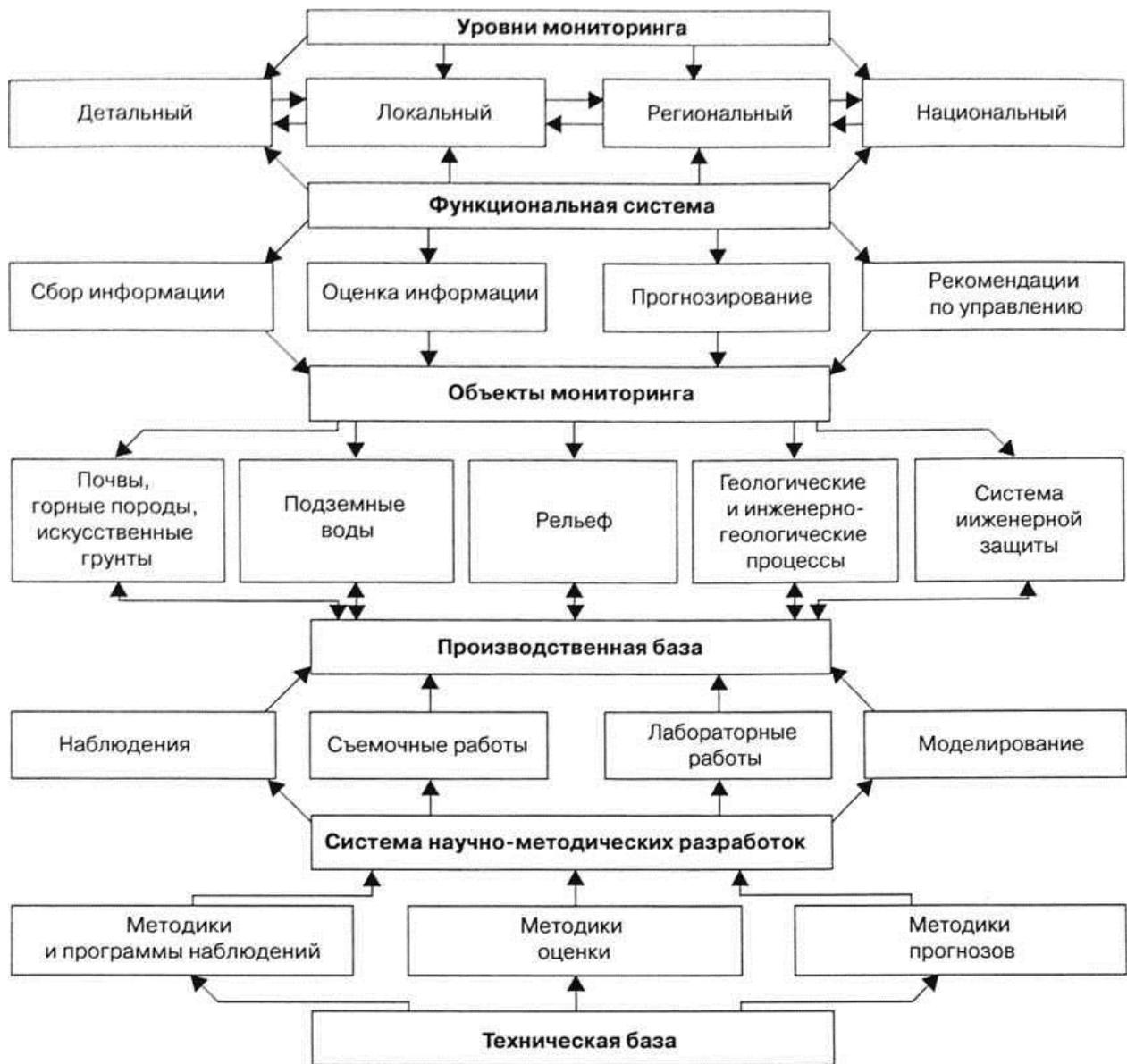


Рисунок 4. Общая структура мониторинга геологической среды
(по В. А. Королёву, 1995).

В данных подсистемах, как правило, выделяются (учитывая целевое назначение) более узко специализированные подподсистемы. Например, в подсистеме мониторинга грунтовых вод могут быть выделены подподсистема загрязнения грунтовых вод, динамика запасов грунтовых вод в части истощения и пополнения и т.п.



Рисунок 5. Структура мониторинга ПТС (по А. Л. Ревзону).

Другой важный элемент при мониторинге ПТС и геологической среды это научно-методические рекомендации, разработки и изобретения. Назначение вышеуказанных научно-методических исследований это создание комплекса методик и методов, используемых в мониторинге и управленческих решений.

ОГП - часть геологической и природно-геологической систем, отсюда выстраивание системы мониторинга производится по тем же критериям, что и к выше указанных систем в целом.

В ходе проведения мониторинга для выявления закономерностей режима ОГП и составления прогнозов учитывается время реализации воздействия фактора. Под режимом ОГП [Круподеров 2001] подразумевается последовательная повторяемость изменений во времени [176].

Так как система мониторинга ОГП строится с учётом достижения конечной цели, отсюда первоначальным является: выявление причин возникновения активизации ОГП и механизмов разрушения склонов [35]. «Для определения физико-механических свойств грунтов производятся: топографическая и геологическая съёмки, разведочные работы и лабораторные исследования прочностных характеристик грунтов» [35, с 79]. «Однако комплексный подход позволяет получить весьма обстоятельную информацию» [35, с 79] об ОГП, как в самом начале их возникновения, так и на стадии полного развития [93, 127, 128, 130, 147].

Проект организации системных наблюдений за ОГП составляется исходя из следующей последовательности:

- а) определение метрических характеристик ОГП;
- б) установление факторов активизации «процессов»;

в) стационарная закладка трансформационных опознавательных знаков для повышения точности цифровых моделей местности;

г) выбор критериев сканирования поверхности и аэрофотосъемки.

Представление о границах того или иного ОГП, определение предполагаемых глубин оползней по геоморфологическим признакам, составление проекта наблюдения становится более простым, чем при классическом изучении.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ (LIDAR)

3.1 Исследование положения дешифрирования в технологической схеме инженерных изысканий

Исходя из разработанных нормативных документов в СССР: «Инженерные изыскания для строительства основные положения» (СНиП II-A.13-69) [131], «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» (СНиП II-9-78) [132], «Инженерные изыскания для строительства» (СНиП 1.02.07-87) [133] и Российской Федерации: «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» (СНиП 11-02-96) [134], «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» (СП 47.13330.2012) [136], «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» (СП 47.13330.2016) [137], «Инженерно-геодезические изыскания для строительства» (СП 11-104-97) [138], «Инженерно-геологические изыскания для строительства» (СП 11-105-97, часть I-VI) [139], «Инженерно-геодезические изыскания для строительства» (СП 317.1325800.2017) [140], «Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов» (СП 420.1325800.2018) [141], - применение аэрометодов в инженерных изысканиях применялось для топографических работ на протяжении всего существования работ как вида инженерных изысканий. Дешифрирование аэрокосмоснимков для изучения инженерно-геологической обстановки появляется в (СНиП 1.02.07-87) [131]. Разработанные методы и проведенные исследования в 60-е и 70-е годы XX-го века показали свою эффективность при изучении геологической среды с точки зрения хозяйственного освоения территорий на разных стадиях инженерных изысканий.

С 2018 года вступивший в силу (СП 317.1325800.2017) [140] «Свод правил. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» регламентирует: « п. 5.3.2.2 Топографическая съемка выполняется следующими методами:

- тахеометрическим;
- спутниковых геодезических определений;

- воздушным лазерным сканированием в сочетании с цифровой аэрофотосъемкой;
- цифровой аэрофотосъемкой, в том числе с применением беспилотных летательных аппаратов;
- стереотопографическим;
- комбинированным аэротопографическим, в том числе с применением результатов ДЗЗ;
- сочетанием различных методов.» [140, с. 21-22].

С 22 июня 2019 года вступил в силу свод правил: «Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов. Общие требования» (СП 420.1325800.2018) [142]:

«Топографическая съёмка при изучении опасных процессов выполняется согласно СП 317.1325800.2017 [140] (пункт 5.3.2) одним из следующих методов или их комбинацией:

- тахеометрическим;
- наземным лазерным сканером;
- воздушным лазерным сканером;
- с использованием спутниковых технологий;
- стереофотограмметрическим» [142, с. 12].

Следовательно, ВЛС становится одним из инструментов получения ЦММ и/или ЦМР при проведении инженерных изысканий и, как следствие, не является отдельным видом проведения работ для изучения инженерно-геологических условий и в частности дешифрирования ОГП на ранних стадиях инженерных изысканий, что уменьшает финансовые затраты на применение технологии лазерного сканирования для инженерных изысканий.

Дешифрирование ОГП по данным воздушного лазерного сканирования (LiDAR), это методика получения полезной информации об исследуемой территории расположения будущего или имеющегося искусственного линейного сооружения без прямого контакта с ним.

Дешифрирование по ЦММ для решения некоторых инженерно-геологических задач позволяет получить информацию:

- 1) о рельефе:
 - дешифрирование типов рельефа;
 - дешифрирование форм рельефа;
 - определение основных морфометрических характеристик
- 2) о геологических структурах:
 - выявление геологических структур, определение элементов залегания;

- дешифрирование плейстоцен-четвертичных отложений;

3) о геологических процессах:

- экзогенные геологические процессы;

- сейсмические явления.

Отсутствие методик дешифрирования ОГП по данным лазерной локации требует их разработки с четким алгоритмом применения методов и методик разработанных ранее и предложенных в настоящей диссертационной работе. Выработка комплекса методик формирует теорию и практику применения методик, регламентируя требования к получаемому массиву ТЛО, разрешению цифровых аэрофотоснимков и определению геоморфологических образов ОГП на них, при сканировании для различных масштабов.

3.1.1 Воздушное лазерное сканирование как один из аэрометодов

Технология лазерного сканирования (лазерной локации) в настоящее время все шире вовлекается в инженерно-геологические исследования.

Использование ЦМР, формируемой по материалам ВЛС, позволяет существенно повысить достоверность обнаружения и опережающей оценки ОГП, проявленных на земной поверхности уже на начальных этапах инженерных изысканий. [61, 75, 158, 170].

В зависимости от конечного назначения ЦММ, к их качеству предъявляются определенные требования и для получения, удовлетворяющего этим требованиям массива ТЛО. Качественное сканирование местности, совмещённое с ЦАФС, позволяет получить уменьшенную модель местности максимально приближенную к реальности. Следовательно, целью использования одного из видов аэрогеодезии (ВЛС) в инженерно-геологических исследованиях является: повышение качества и некоторое уменьшение времени проводимых работ.

Материалы полученные при помощи лазерного сканера и цифровой фотокамеры с ЛА или БПЛА для решения задач в инженерных изысканиях (при решении геологических и экологических задач), записываются на цифровые носители [19, 21, 37, 39], это дает возможность создавать банки данных упорядочивая информацию [48].

«Учитывая, что на сегодняшний день повсеместно применяется лазерное сканирование при проведении геодезических изысканий на линейных и площадных» объектах, появляется потребность использования полученной ЦММ не только для построения планшетов и карт, но и для геологической интерпретации изучаемой местности» [39, с. 38-39] (см. рисунок 6.).

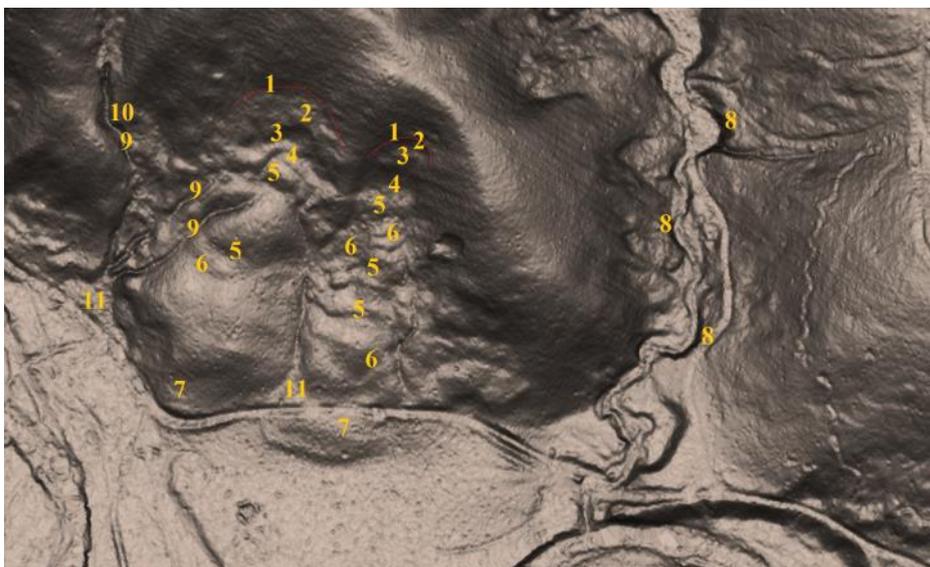


Рисунок 6. Интерпретация условий на цифровой модели рельефа (по Баборыкину и др.) [19].

1 – цирк оползня; 2 – бровка главного уступа; 3 – главный уступ; 4 – вершина оползня; 5 – внутренний уступ; 6 – неровности поверхности рельефа (валы, бугры и т.д.); 7 – подошва оползня; 8 – переработка берега горной рекой (боковая эрозия постоянного водотока); 9 – линейная эрозия (донная эрозия временного водотока); 10 – линейная эрозия (боковая эрозия временного водотока); 11 – конус выноса (пролювий).

3.1.1.1 Технологическая схема использования материалов ВЛС для инженерно-геологических изысканий

Технологическая схема «проведения дешифрирования опасных геологических процессов разработана с целью оптимизации операций для сокращения временных затрат» [39, с 39] на проведение распознавания того или иного ОГП имеющего потенциально негативное влияние на проектируемое сооружение и, как следствие, имеющее возможность ухудшать последствия воздействия геологических процессов на экосистемы (см. рисунок 7) [56].

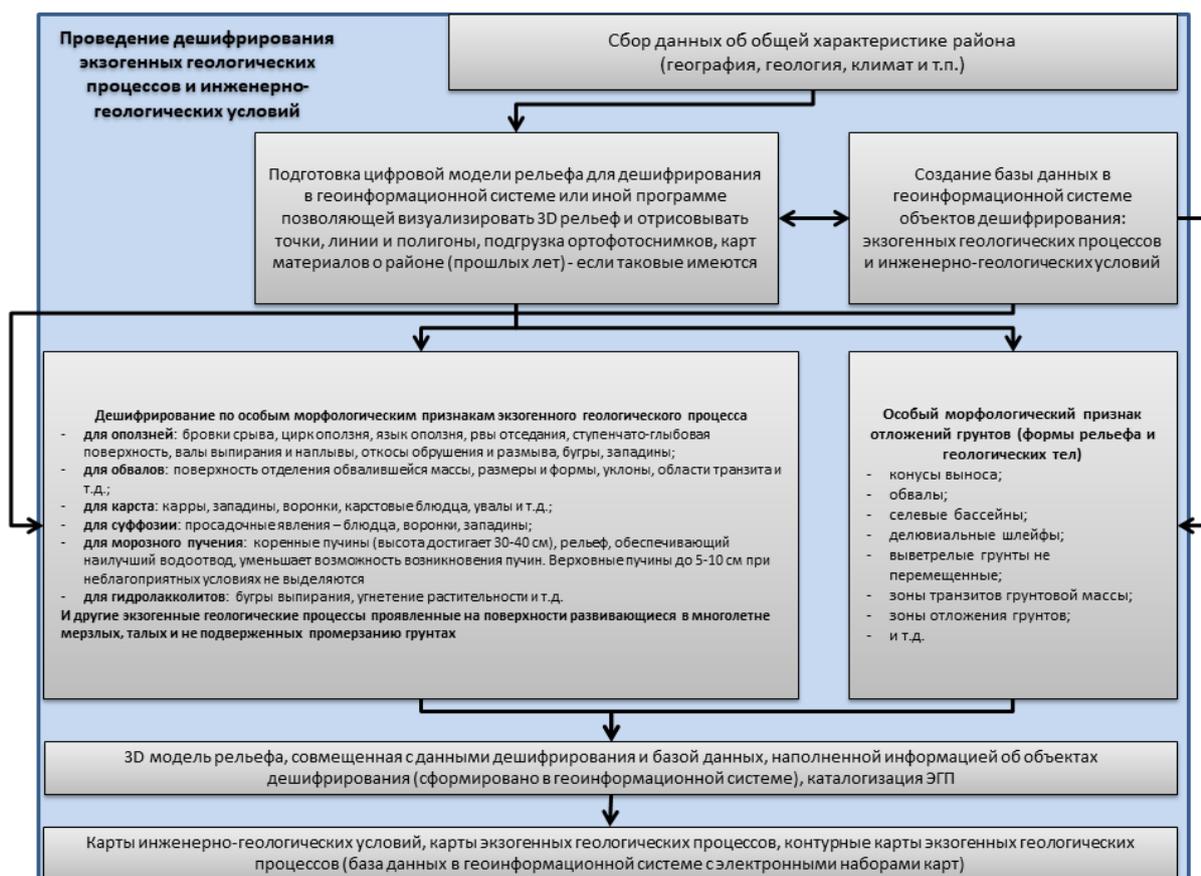


Рисунок 7. Алгоритм проведения дешифрирования экзогенных геологических процессов и инженерно-геологических условий (по автору, 2017) [56].

Дешифрирование ОГП и геологических условий включает [56]:

1. проведение сбора исходных данных (топокарты, физико-географические характеристики района) в случае необходимости;
2. выполнение работ по ВЛС совмещенного с ЦАФС, с разработкой плана полёта для высокого качества сканирования;
3. проведение классификации ТЛО, ортотрансформация ЦАФС, с построением картограмм интенсивности отражений;
4. формирование ЦМР совмещенной с ортофотоснимками или ЦММ.
5. проведение загрузки сформированных ЦММ или ЦМР и ортофотоснимков в ГИС;
6. распознавание очертаний ОГП по их характерным признакам, отображенным в рельефе (см. Приложение А), и линеаментов по присущим им типичным примитивам, составляющих очертания каких-либо геологических процессов и образованных геологических тел (коллювиальные конусы, конусы выноса, оползневые тела и т.д.) для формирования контурных карт ОГП;

7. подготовка тематических карт (карты уклонов, текстурной поверхности, карты градиентов уклонов, конфигурации склонов (выпуклые, вогнутые и т.д.). Загрузка сформированных комплектов карт в ГИС с ЦМР и/или ЦММ для проведения дешифрирования ОГП (согласно СП 115.13330.2016 [143]) с определением количественных и качественных характеристик, линеаментов разрывных нарушений и геологических структур. Выполнение вероятностных расчетов появления или активизации склоновых процессов;
8. формирование векторных слоев с базами данных в ГИС;
9. подготовка карт инженерно-геологического районирования, карт инженерно-геологических условий, контурных карт ОГП и линеаментов.

Исходные данные для дешифрирования могут включать: данные освещающие общую характеристику района, климат, географические, геологические особенности и прочее. Предпочтительным способом сбора данных является ВЛС местности с ЦАФС. ВЛС проводится с высот, позволяющих получить данные для топографических планов разного масштаба для проектирования. При выполнении ВЛС местности для инженерно-геологической съёмки при проектировании полёта высота задается исходя из необходимости получения максимально плотного массива ТЛО с минимальной среднеквадратичной погрешностью и ортофотоснимков. Автором настоящей диссертационной работы установлена прямая взаимосвязь плотности массива ТЛО в совокупности со среднеквадратичной погрешностью с качеством дешифрирования ОГП и геологических условий.

ЦМР для дешифрирования, после уравнивания и классификации массива ТЛО, готовится в ГИС или ином программном продукте, позволяющим визуализировать 3D рельеф и отрисовывать примитивы (точки, линии и полигоны).

Интерпретация данных по особым морфологическим признакам какого-либо ОГП подразумевает выделение типизированных примитивов [56]:

- *«для выявления оползневых явлений: выявляются бровки срывов, оползневых цирков, рвы отседаний, языки оползневых структур, ступенчато-глыбовые поверхности, валы выпираний и наплыв, откосы обрушений и размывы, западины и бугры»* [Баборыкин 2017];
- *«для выявления обвальных явлений: выявляются поверхности отделений обрушившихся масс, формы и размеры, уклоны, области транзита и т.д.»* [Баборыкин 2017];
- для выявления карстовых явлений: определение карров, западин, воронок, блюдца, увалов и т.д.;

- для определения суффозионных явлений: выявление просадочных явлений – блюдца, провалов грунтов, воронок и западин;
- для выявления морозного пучения: определение форм коренных пучин (достигающих высотой 30-40 см в виде бугров сезонного проявления), текстурные формы рельефа. Верховные пучины до 5-10 см при неблагоприятных условиях не выделяются;
- для выявления гидролакколитов: определение бугров выпирания, по угнетению растительности и т.д.
- и другие ЭГП, проявленные в каком-либо виде на поверхности, развивающиеся подверженных промерзанию, талых и многолетнемерзлых грунтах.

Особый признак отложений грунтов (геологических тел, проявивших себя в рельефе и формы рельефа): осыпи, обвалы, конусы выноса, делювиальные шлейфы, коры выветривания (не перемещенные выветрелые грунты), зоны транзитов и отложений грунтовых масс, и т.д.

3.1.1.2 Комплексирование методов

При комплексировании методов можно получить куб данных, состоящий из ЦМР совмещенной с данными ДЗЗ и аэрогеофизики [39]. Также технологическая схема (см. рисунок 7) предусматривает возможность применения данных разного масштаба позволяющих проводить более глубокое изучение исследуемой территории.

Учитывая что дешифрирование позволяет проводить оконтуривание и диагностику, то непосредственное изучение дает основные числовые параметры, такие как: мощность, физико-механические характеристики, расположение инженерно-геологических элементов.

Использование в комплексе методов дешифрирования и методов геофизических исследований (с последовательным использованием разномасштабных снимков, в совокупности с ЦМР) позволяет надёжно выявить как сами разрывные нарушения, так и характеристики (простираение, проницаемость, обводнённость и др.).

Комплексы методов, разработанные в СССР, для дешифрирования ОГП основывались на получении данных с большим количеством трудозатрат, при этом направлены на проведение качественных полевых работ. Формирование комплекса методик дешифрирования в настоящей диссертационной работе направлено на уменьшение трудозатрат, а также сокращение дополнительных полевых работ, опираясь на избыточность данных получаемых с ВЛС для топографических работ.

Построенная ЦММ и выведенная из неё ЦМР по данным ВЛС позволяет достоверно, по разработанному в процессе исследования алгоритму, определить геоморфологический образ геологического процесса или явления по прямым признакам, включая естественный

цвет каждой точки, отраженной от поверхности. Применение интенсивности ТЛО от поверхности является косвенным методом, позволяет определить грунтовые воды, расположенные в первых сантиметрах от дневной поверхности под лесной растительностью. Применение цифрового аэрофотоснимка RGB как вспомогательного материала при дешифрировании по прямым и косвенным признакам позволяет повысить информативность изучаемых инженерно-геолого-геоморфологических условий (см. рисунок 8).

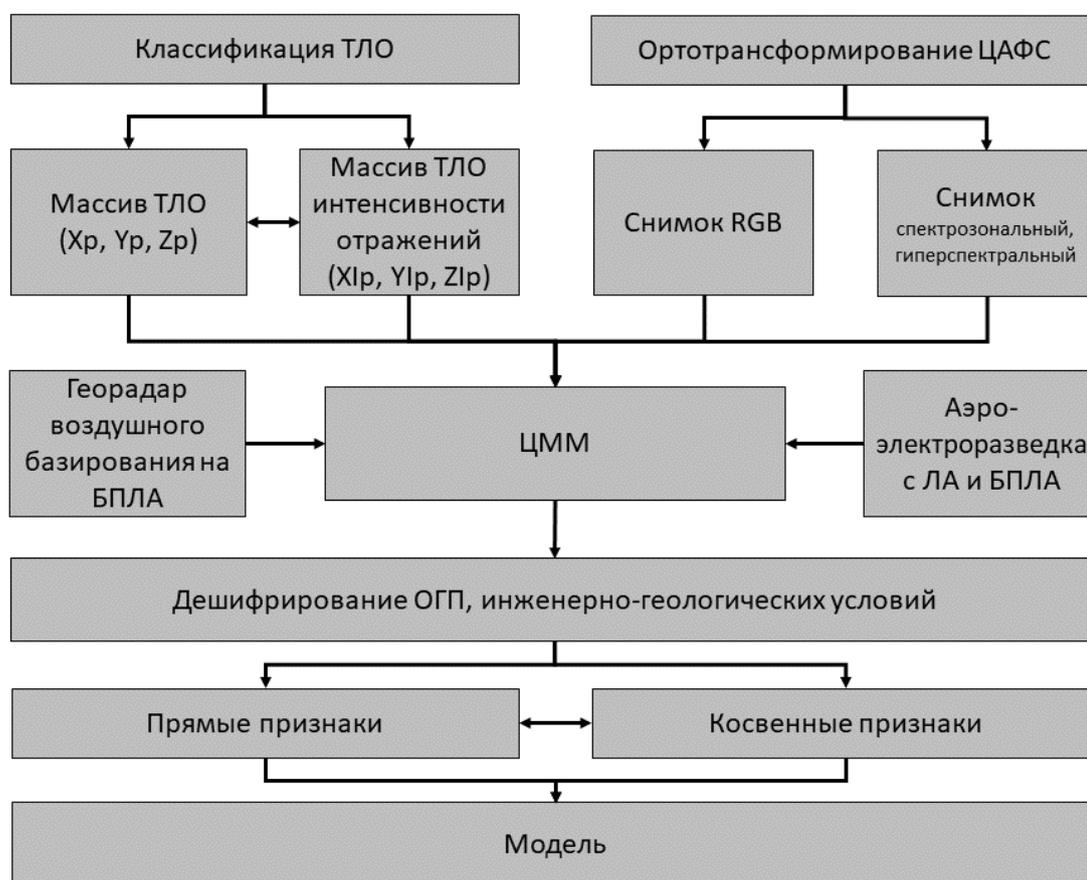


Рисунок 8. Алгоритм формирования модели местности, куба данных (по автору, 2019).

3.2 Основы дешифрирования по данным воздушного лазерного сканирования (LiDAR)

Дешифрирование инженерно-геологических условий и ОГП основано на выявлении закономерностей между внешним обликом природной среды и геоморфологическим образом ОГП [19, 21, 37, 75, 86, 89, 125, 129, 160, 169, 171, 173, 176, 178, 179, 180], в частности точек лазерных отражений класса «земля» связанных с их внутренним строением и «геоморфологическим образом» того или иного ОГП классифицированного как ОГП для проектируемого линейного сооружения.

Применение метода дешифрирования геологических процессов (см. Приложение Б) на всех этапах инженерно-геологических исследований позволяет не только выявлять экзогенные, а иногда и проявления эндогенных процессов [54, 87, 92, 106]. Дешифрирование позволяет установить типы и виды процессов согласно принятым в инженерной геологии классификациям, формы их проявления в окружающей среде, воздействия на инженерные сооружения [18, 75, 87, 91, 115]. Использование современного ВЛС позволяет получить качественную модель местности [38, 47, 56, 115] и, как следствие, проводить морфометрический анализ.

Очевидно, для целей морфометрического анализа, при выявлении и оценке геологических процессов, применение ВЛС должно обеспечивать формирование трёхмерной модели, приближенной к истинной поверхности рельефа высокой детальности и достоверно отражающей морфометрические особенности и их признаки [18, 38, 47, 170]. В связи с этим, к наиболее важным критериям, характеризующим качество данных сканирования, следует отнести детальность отображения элементов рельефа при моделировании поверхности Земли, приближенной к истине. Проведение качественного инженерно-геоморфологического анализа возможно на основе ЦМР высокой детальности обеспечивающего обнаружение «геоморфологических образов» отражающих геологические процессы. А также расчёт и картографирование морфометрических показателей макро и микрорельефа.

Для унификации и обобщения предлагается понятие *«геоморфологический образ ОГП – устойчивое сочетание морфометрических элементов и форм, типичных для того или иного опасного геологического процесса»* [76, С 170].

Методика поиска ОГП основана на декодировании физиономических характеристик какого-либо объекта, т.е. отраженных на ЦМР характерных примитивов и сравнении их с примитивами типовых моделей. Каждый объект, картируемый во время дешифрирования, обладает характерным набором главнейших признаков [56]:

- положение пространстве,
- общий «геоморфологический облик»,

- текстурные особенности поверхности, фототоны (и дополнительно – интенсивность ТЛО),
- степень расчленённости рельефа,
- рисунок гидросети,
- растительность (при использовании в комплексе со спектрзональными, гиперспектральными и др. видами съёмок).

Учитывая, что декодирование и интерпретация ОГП по данным ВЛС проводится по прямым признакам – очертания объектов, следует помнить, что для некоторых типов объектов набор признаков может быть не полным или переменным.

Дешифрирование, включающее в себя декодирование и интерпретацию ОГП, а также геологических условий по данным ВЛС дает возможность определять количественные и качественные характеристики. Производить их картирование, получать градиенты уклонов местности, определять линеаменты разрывных нарушений, производить съемку элементов залегания коренных пород и т.д., также по данным ЦМР (см. рисунок 9) совмещенных с ЦАФС, производить прогноз появления какого-либо ЭГП при проектировании сооружений, определять зоны возможных неблагоприятных воздействий проектируемого сооружения, определять подвиды оползней (согласно Приложению А) и прогнозную глубину зеркала скольжения по внешним признакам оползней и т.д.

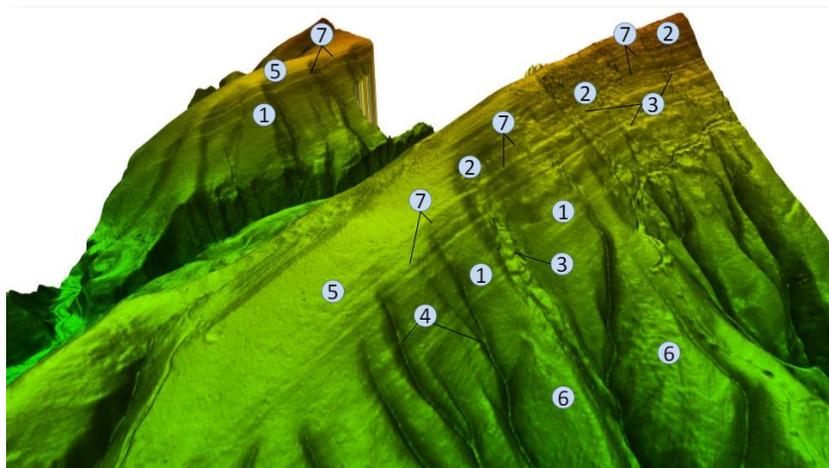


Рисунок 9. Цифровая модель рельефа, М 1:500 (Северный Кавказ) (по автору 2014) [49]. 1 - горные склоны; 2 - осыпи (коллювиальные образования, щебни); 3 - ложбины движения осыпей; 4 - эрозионные врезы (линейная эрозия временных водотоков); 5 - приводораздельные склоны, покрытые чехлом (элювиальные образования щебнисто-гравийные грунты с глинистым заполнителем); 6 - склоны, покрытые чехлом (делювиально-коллювиальные образования, щебнисто-гравийные грунты с глинистым заполнителем); 7 - выходы коренных пород на дневную поверхность (переслаивание осадочных пород).

ОГП, которые могут быть опасными (статус ОГП) для сооружений – являются источником дополнительных финансовых затрат во время их эксплуатации. Выявление ОГП для будущих сооружений на стадиях допроектной проработки позволяет избегать дополнительных финансовых вложений и увеличения сроков, минимизируют риски перетрассировок при проведении полевых работ.

Раннее предоставление информации о наличии опасных ОГП повышает эффективность проведения инженерных изысканий на линейных и площадных объектах, снижает производственные затраты за счёт снижения временных затрат при обследовании территории, а также расширяет возможности рационально размещать горные выработки учитывая необходимость изучать опасные процессы для получения максимальной информативности. Это позволяет принимать проектные решения наиболее правильно. Также, в случае необходимости, позволяет обосновать изменения в проекте до полномасштабных инженерно-геологических полевых работ.

3.2.1 Исследования лазерного сканирования для выработки критериев качества данных воздушного лазерного сканирования при решении морфологических задач

Исследование плотности массива ТОЛ для сканера импульсного типа с качающимся зеркалом: изучение распределения точек лазерного сканирования для трех видов разверток - Sine, Triangle, Raster оборудования Leica ALS70-СМ по отношению к поверхности земли и возможности распознавания форм ОГП, а также получения их качественных и количественных характеристик.

Одной из главных задач является обоснование качества сканирования местности. Второй, не менее важной задачей, является подтверждение отображений ОГП с определённой точностью (зависящих от того, для построения какого масштаба топоплана проводится сканирование).

Задача достижения максимальной детальности и качества отображения морфометрических характеристик рельефа достигается за счет оптимизации комплекса параметров сканирования и съёмки для конкретных условий при проектировании работ ВЛС. Не следует забывать о том, что сканирование на изучаемых объектах проводится, в первую очередь, для выполнения топографо-геодезических задач, следовательно, подходы по реализации сканирования должны решать топографические и инженерно-геолого-геоморфологические задачи.

Вместе с тем, в настоящее время отсутствуют рекомендации по необходимой детальности данных при решении инженерно-геолого-геоморфологических задач и

требования по качеству выполнения ВЛС. Необходимо обосновать оптимальные условия сканирования, обеспечивающие качественные данные для решения инженерно-геолого-геоморфологических задач, в частности надежного обнаружения и оценки ОГП по морфометрическим признакам.

С этой целью ниже приведены исследования возможности применения воздушного сканера и исследования в определении технико-методических ограничений для получения достаточной пространственной детальности ЦМР при выявлении и оценке ОГП, а также возможности варьирования технических параметров выполнения сканирования (на основе аппаратуры Leica ALS70-СМ) при решении инженерно-геологических задач.

Качество данных ВЛС при решении морфологических задач. Первичные данные ВЛС представляют собой ТЛО от объектов различных классов (земля, лес, зданий, инженерных сооружений и т.д.) [157]. Для построения ЦМР по первичным данным ВЛС необходимо провести тематическую классификацию ТЛО (производится при помощи специализированных программных продуктов).

При этом, согласно критериям оценки информационной ценности отдельного лазерного отражения [103] для целей инженерно-геолого-геоморфологического анализа наибольшей информационной ценностью (семантической нагрузкой), несомненно, характеризуются отражения от истинной поверхности земли (класса земля).

На основе полученной совокупности ТЛО относящихся к классу земля, т.е. истинных отражений от земной поверхности, выполняется реконструкция поверхности рельефа (чаще всего триангуляция Делоне), сформированная таким образом ЦМР является исходной для применения различных оптимизирующих процедур (аппроксимация, удаление шумов) повышающих качество модели рельефа для целей дальнейшего ее использования при решении различных прикладных задач [167].

Вместе с тем возможности повышения качества и детальности построения ЦМР с применением различных оптимизирующих процедур, очевидно, напрямую зависят от величины исходной плотности совокупности ТЛО отнесенных к классу земля [103].

В связи с этим, для достоверного трехмерного моделирования рельефа и надежного выделения морфометрических форм, отражающих ОГП, необходимо обеспечить достаточное количество отражений (поверхностная плотность) от истинной земной поверхности. К наиболее важным критериям оптимизации параметров ВЛС при решении инженерно-геологических, а именно инженерно-геолого-геоморфологических задач на основе ЦМР, следует отнести поверхностную плотность точек лазерных отражений от истинной земной поверхности **D₃**. Для повышения детальности ЦМР в условиях развития растительности необходимо при проектировании ВЛС задать оптимальные технические параметры

выполнения съемки, обеспечивающие максимальную проникающую способность зондирующих лучей сквозь растительность, а также максимальное их количество и, как следствие, максимально возможную поверхностную плотность массива ТЛО истинной поверхности земли.

Пример, характеризующий влияние плотности точек D_3 ВЛС на результирующую информативность ЦМР при обнаружении и описании ОГП, представлен на рисунке 10.

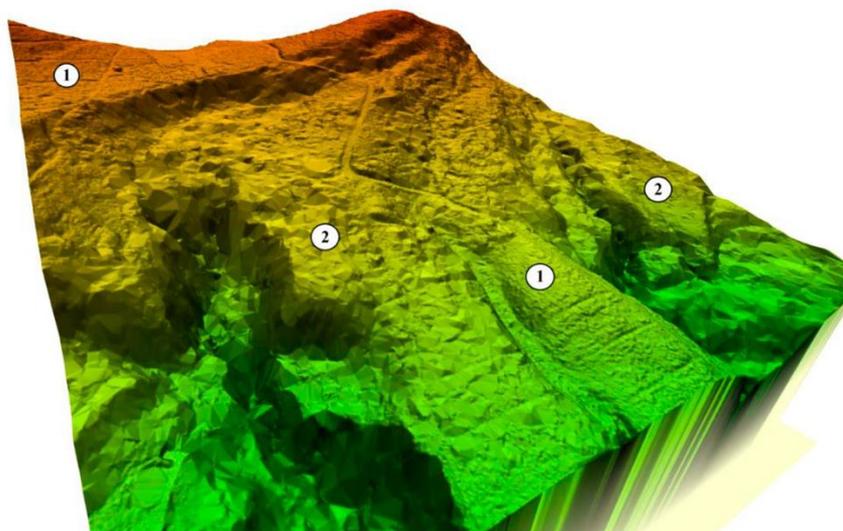


Рисунок 10. 3D модель рельефа ВЛС выполненного в не благоприятных условиях (воздушный лазерный сканер ALTM - 3100), М - 1: 2000 (по автору, 2014) [52].

1 - зона с плотным облаком лазерных точек (высокая точность съёмки); 2 - зона с не плотным облаком лазерных точек (низкая точность съёмки).

Как видно на представленном рисунке, детальность ЦМР не обеспечивает необходимую точность отображения морфометрических особенностей рельефа, отражающих морфометрические элементы оползневого объекта (бровка срыва, оползневые блоки и др.). Сформированная ЦМР пригодна для выделения границ ОГП, в данном случае таких как - оползень и донная эрозия временных водотоков (овражная). Низкое качество и детальность ЦМР обусловлена недостаточной плотностью массива ТЛО, составляющей 1-3 ($1/m^2$). Низкая плотность точек отражений от истинной поверхности земли на представленной сцене обусловлена наличием густой растительности на участке измерений и высотой сканирования.

Возможности выявления и оценки ОГП на основе ЦМР, полученной по материалам ВЛС, подробно описаны в работе: «Дешифрирование материалов аэрокосмической съемки для анализа инженерно-геологических условий в общем алгоритме изысканий на линейных объектах» [18]. Пример: к морфометрическим элементам оползневого объекта, обеспечивающим надёжное их обнаружение, относятся: оползневый цирк, оползневое тело. К

оценке: оползневый цирк, главный уступ с конфигурацией бровки, положение тела оползня с неровностями рельефа (валы, бугры и др.) и т.д.

Таким образом, обеспечение оптимальной плотности точек сканирования является важнейшей задачей. В качестве основного параметра оптимизации процесса ВЛС при решении инженерно-геолого-геоморфологических задач необходимо использовать поверхностную плотность массива ТЛО от истинной поверхности земли (класса «земля») на единицу площади - D_3 , от величины которого зависит точность и детальность создаваемой ЦМР и, как следствие, возможность обнаружения и описания объектов ОГП, имеющих морфометрические особенности строения.

Оценку достаточной величины D_3 сканирования необходимо дать в зависимости от решаемой инженерно-геолого-геоморфологической задачи.

Очевидно, чем мельче объекты, которые должны быть декодированы и интерпретированы на местности, тем выше необходимо задать технически достигаемую плотность массива ТЛО и формально эта величина рассчитывается исходя из геометрических соотношений, описывающих процесс лазерно-локационного сканирования [170]. Вместе с тем, формально невозможно достоверно учесть все возможные природные факторы и условия выполнения съёмки, негативно влияющие на величину D_3 , на качество получаемых материалов и детальность ЦМР. Однако, опираясь на требования, предъявляемые к лазерному сканированию для топографо-геодезических работ, можно получить модель с хорошей разрешающей способностью, пригодной для инженерно-геолого-геоморфологического дешифрирования.

Ниже приведены рекомендуемые разработчиками оборудования (лидаров) значения поверхностной плотности массива ТЛО класса «земля» D_3 [23, 76, 103, 172] со сравнительной оценкой решаемых задач при исследовании ОГП (см. таблицу 8) выработанной при проведении исследований автором настоящей диссертационной работы.

Таблица 8. Сравнительная оценка решаемых задач при исследовании опасных геологических процессов и явлений на основе материалов воздушного лазерного сканирования с различной поверхностной плотностью точек лазерных отражений класса «земля».

№ п/п	Поверхностная плотность точек отражений класса «земля» D ₃ (1/М ²)	Масштаб топографической карты	Выделение внешнего контура оползневого тела, определение положения головы, бровки главного уступа, подошвы оползня	Фрагментация объекта с выделением элементов оползневой структуры (блоки, язык, терраса), описание выраженности уступа	Оценка текстурной неоднородности поверхности (валы, бугристость), крупные трещины отрыва (10см)
1	2	3	4	5	6
1	3-4	1 : 2000	+	-	-
2	5	1 : 1000	+	+	-
3	6-7	1 : 500	+	+	+

Проведённый анализ экспериментальных материалов ВЛС удовлетворяет потребности дешифрирования при сканировании местности для топопланов М 1:1000 и М 1:500 (ЛА), М 1:200 и М 1:100 (БПЛА). 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 обликв ОГП (см. рисунок 11).

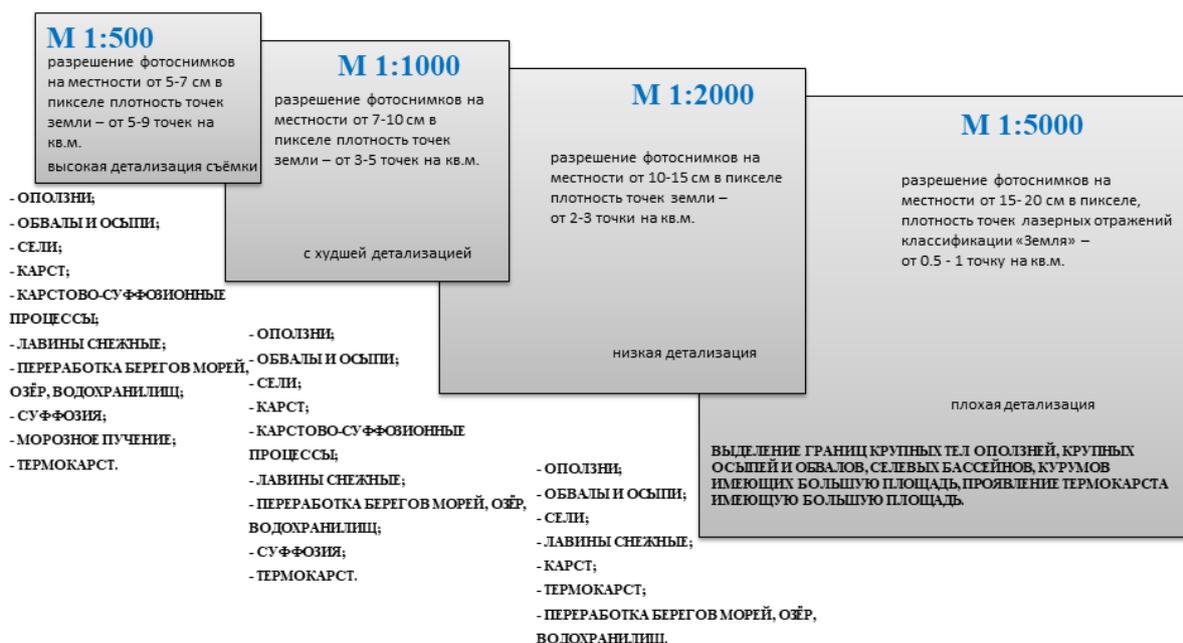


Рисунок 11. Критерии дешифрирования «геоморфологических образов» ОГП (по автору, 2016) [55].

Сканирование для формирования топопланов М 1:200 и М 1:100 (БПЛА) больше подходит для мониторинга, так как сверх высокая детализация ЦМР увеличивает объем записываемой информации с точки зрения хранения данных. Если необходимости в проведении мониторинга нет, то М 1:500 является самым информативным.

Параметры приведенные в таблице определяют материалы ВЛС со значениями плотности сканирования, которые могут эффективно использоваться при построении ЦМР высокой степенью детализации как основы для выделения ОГП с их последующим описанием при решении конкретных задач (см. таблицу 9).

Многие компании предлагающие услуги лазерного сканирования используют сканеры различных фирм-изготовителей, фактически вся информация получаемая с разных сканеров должна соответствовать требованиям по точности и плотности ТЛЮ для того или иного масштаба.

Некоторые сканеры не могут быть использованы для создания топографических планов М 1:1000 и тем более М 1:500, в виду технических ограничений.

При разработке методики дешифрирования ОГП использовались два сканера: LIDAR ALTM 3100 и Leica ALS70-СМ. Наилучшие показатели у сканера ALS70-СМ, характеристики данного устройства позволяют выполнять картирование местности (топографические планы) масштабом 1:500 по не застроенной территории.

Ниже приведены основные расчетные условия выполнения ВЛС на основе применения аппаратно-технической базы Leica ALS70-СМ.

Выбор оптимальных параметров ВЛС Распределение точек отражений на поверхности сканирования формально определяется исходя из геометрических соотношений, описывающих процесс ВЛС, и обозначены величинами:

- интервалы сканирования: продольный (по направлению пролёта) и поперечный - плотности сканирования **D_x**, **D_y** как обратные величины **S_x**, **S_y**;
- характер распределения точек на поверхности в зависимости от способа развертки при сканировании Sine, Triangle, Raster;
- общая поверхностная плотность сканирования **D_{общ} = D_x*D_y** - количество точек на единицу площади сканирования.

К основным параметрам сканирования и выполнения съёмки ВЛС, определяющим процесс сканирования и технически характеризующим вышеприведенные параметры распределения точек отражений, относятся: скорость движения воздушного носителя (**V**), частота зондирующих импульсов (**F**), частота сканирования (**f**), амплитуда сканирования ϕ (полный угол сканирования ϕ), высота съёмки (**H**).

Как было указано выше, качество решения инженерно-геолого-геоморфологических задач зависит от достаточной плотности ТЛО класса земля D_3 , чем выше плотность массива точек, тем детальнее отображаются морфометрические особенности рельефа на модели ЦМР, чем меньше погрешность определения координат точки в пространстве, тем выше вероятность определения качественных и количественных характеристик.

В реальных условиях сканирования поверхностная плотность массива точек «класса земля» несколько ниже от общей поверхностности плотности точек сканирования $D_{\text{общ}}$. При этом, соотношение $D_{\text{общ}}/D_3$ изменяется в широких пределах в зависимости от условий наблюдения и определяется с учетом физических ограничений процесса лазерной съемки, препятствующих получению максимального соотношения $D_{\text{общ}}/D_3$ и достижению максимальной эффективности применения метода ВЛС при оценке морфометрии истинной поверхности рельефа.

Для целей морфометрического анализа рельефа к наиболее существенным из физико-методических ограничений, препятствующих достижению максимального соотношения $D_{\text{общ}}/D_3$, следует отнести эффекты «поглощения», значительно снижающие количество отражений от поверхности земли.

Так, в условиях густой растительности важным параметром ВЛС влияющим на величину поверхностной плотности массива ТЛО класса «земля» является ориентация зондирующего луча. Ориентация, луча зондирования, зависит от угла от надира и наклоном сканирующего блока. Для повышения количества отражений от истинной поверхности земли необходимо обеспечить максимально возможное вертикальное распространение зондирующего луча (минимальный угол сканирования и минимальная высота сканирования) с тем, чтобы снизить количество отражений от верхней части крон деревьев. При необходимости на сложных участках с густой растительностью следует выполнить дополнительные залеты с максимально вертикальным режимом сканирования. С учетом дополнительных залетов фактическая ширина коридора должна обеспечивать освещение сложных морфо объектов с необходимой плотностью точек на единицу площади. Наиболее идеальными условиями при сканировании является 15 град. от надира, выведено экспериментально автором настоящей диссертационной работы [23, 37, 76].

Таким образом, для достижения оптимальной величины D_3 необходимо тщательно планировать вышеприведенные параметры съемки (ϕ , V , H , F , f) с учетом сложности местности исследований и поставленных задач с тем, чтобы оптимизировать параметры сканирования и выполнения съемки для обеспечения достаточной величины D_3 .

Возможности варьирования указанных параметров для достижения достаточной плотности массива ТЛО зависят от конкретной аппаратно-технической спецификации

используемого лидара и используемого метода сканирования (sine, triangle, raster). К аппаратно-техническим характеристикам конкретного лидара, определяющим возможное варьирование параметров сканирования и съёмки, относятся зависимости частоты сканирования от заданной амплитуды сканирования, а также частоты зондирования от заданной высоты сканирования. Чрезвычайно важными при съёмке рельефа (в условиях покрытых лесом территорий) аппаратно-техническими характеристиками являются: режим множества импульсов и фактическое разрешение по дальности между двумя последовательными откликами. Комплекс Leica ALS70-СМ поддерживает работу в режиме множества импульсов в воздухе (2PIA) (за счёт дополнительного банка счётчиков дальности) [172], позволяющего вдвое повысить параметр F на высотах более 870 м и тем самым обеспечивает преимущества использования большей частоты зондирования импульсов (повышенную плотность точек отражений). Система также поддерживает регистрацию бесчисленного количества обратных откликов от каждого зондирующего лазерного импульса, при этом разрешение по дальности составляет 3,5 м. Указанные зависимости, характеризующие спецификацию лидара Leica ALS70-СМ, приведены на рисунке 12 [172].

С учетом приведенной технической спецификации аппаратно-технического комплекса лазерного сканирования Leica ALS70-СМ и возможностей варьирования параметров сканирования f и F рассчитаны основные технико-методические параметры выполнения ВЛС для оценки возможностей достижения достаточной поверхностной плотности сканирования D_3 при решении геоморфологических задач (см таблицу 9).

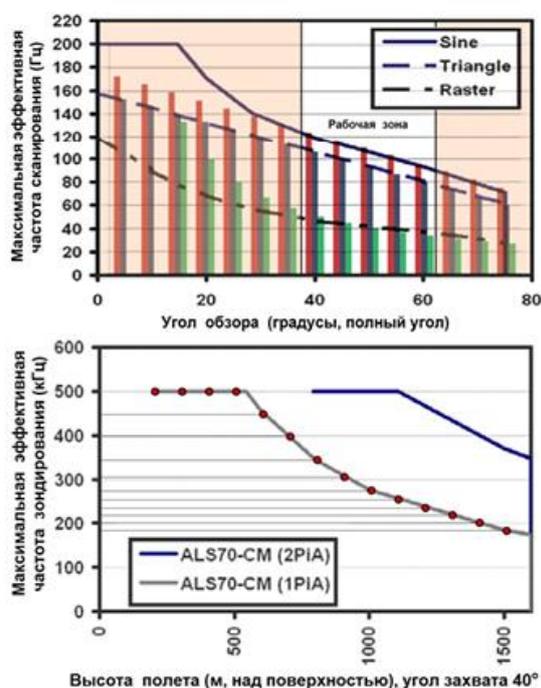


Рисунок 12. Аппаратно-техническая спецификация комплекса лазерного сканирования Leica ALS70-СМ компании Leica Geosystems AG (www.leica-geosystems.com).

Основные расчётные параметры заданы для рабочей зоны с амплитудой сканирования $\phi=40^\circ$, при которой частота сканирования f для трех видов разверток - Sine, Triangle, Raster согласно спецификации составляет 124 Гц, 107 Гц, 48 Гц соответственно. В представленных таблицах (см. таблицы 9-14) приведены плотности, соответствующие расчетным значениям H в зависимости от заданных технических параметров сканирования и выполнения съёмки. Значения высот сканирования для трех методик разверток рассчитаны для двух значений заданной скорости V - 130км/час (таблица 9-11) и V - 65 км/час (таблица 12-14).

Из приведенных ниже табличных данных следует, что наибольшее влияние на поверхностную плотность оказывают скорость, высота производимой съемки, и частота зондирования F . Так, уменьшение скорости V в два раза (таблицы 13-12) приводит к соответствующему увеличению поверхностной плотности сканирования $D_{\text{общ}}$ среднем в два раза, и позволяет при необходимости получать требуемую плотность на значительно большей высоте полета, при равенстве всех других параметров выполнения ВЛС.

Аналогичное по степени влияние оказывает изменения значений высоты съемки H от 300 м до 1500 м., при этом, ширина полосы захвата при фиксированном угле сканирования 40° (20 град от надира) изменятся от 200 м при высоте 300 м до 1 км при высоте 1.5 км.

Таблица 9. Параметры высоты полёта при методике сканирования RASTER, $V=130$ км/час.

$D_{\text{общ.}}$ (N /кв.м)	S_y (М)	S_x (м), ϕ, V, f	Частота зондирования F (кГц)							
			500	450	400	350	300	250	200	150
2	0.66	$\phi=40^\circ$ км/ч, м, $S_x=0,75$ $V=130$ $f=48$ Гц	9539	8585	7631	6677	5723	4770	3816	2862
2.5	0.53		7631	6868	6105	5342	4579	3816	3053	2289
5	0.26		3816	3434	3053	2671	2289	1908	1526	1145
7.5	0.17		2544	2289	2035	1781	1526	1272	1018	763
10	0.13		1908	1717	1526	1335	1145	954	763	572
12.5	0.10		1526	1374	1221	1068	916	763	611	458
15	0.08		1272	1145	1018	890	763	636	509	382
17.5	0.07		1090	981	872	763	654	545	436	327
20	0.06		954	859	763	668	572	477	382	286
25	0.05		763	687	611	534	458	382	305	229

Параметры высоты полёта H (м), при заданных $\phi=40^\circ$, $V=130$ км/час и соответствующих значениях f_s и S_x при методике сканирования RASTER, соответствующие им фиксированные величины поверхностной плотности массива ТЛО D и поперечного интервала S_y .

Таблица 10. Параметры высоты полёта, при методике сканирования TRIANGLE, V=130 км/час.

D _{общ.} (N /кв.м)	Sy(М)	S _x (М), φ, V, f км/ч,	Частота зондирования F (кГц)							
			500	450	400	350	300	250	200	150
2	2,94	φ=40° м, S _x =0,34 V=130 f=107 Гц	18879	16991	15103	13215	11327	9439	7552	5664
2.5	2,35		15103	13593	12082	10572	9062	7552	6041	4531
5	1,17		7552	6796	6041	5286	4531	3776	3021	2265
7.5	0,78		5034	4531	4027	3524	3021	2517	2014	1510
10	0,58		3776	3398	3021	2643	2265	1888	1510	1133
12.5	0,47		3021	2719	2416	2114	1812	1510	1208	906
15	0,39		2517	2265	2014	1762	1510	1259	1007	755
17.5	0,33		2158	1942	1726	1510	1295	1079	863	647
20	0,29		1888	1699	1510	1322	1133	944	755	566
25	0,23		1510	1359	1208	1057	906	755	604	453

Параметры высоты полёта H(м), при заданных $\alpha=40^\circ$, V=130 км/час и соответствующих значениях fs и Sx при методике сканирования TRIANGLE, соответствующие им фиксированные величины поверхностной плотности массива ТЛО D и поперечного интервала Sy.

Таблица 11. Параметры высоты полёта при методике сканирования SINE, V=130 км/час.

D _{общ.} (N /кв.м)	Sy(М)	S _x (М), φ, V, f км/ч,	Частота зондирования F (кГц)							
			500	450	400	350	300	250	200	150
2	3,44	φ=40° м, S _x =0,29 V=130 f=124 Гц	19099	17189	15279	13370	11460	9550	7640	5730
2.5	2,75		15279	13752	12224	10696	9168	7640	6112	4584
5	1,37		7640	6876	6112	5348	4584	3820	3065	2292
7.5	0,92		5093	4584	4075	3565	3056	2547	2037	1528
10	0,69		3820	3438	3056	2674	2292	1910	1528	1146
12.5	0,55		3056	2750	2445	2139	1834	1528	1222	917
15	0,46		2547	2292	2037	1783	1528	1273	1019	764
17.5	0,39		2183	1965	1746	1528	1310	1091	873	655
20	0,34		1910	1719	1528	1337	1146	955	764	573
25	0,27		1528	1375	1222	1070	917	764	611	458

Параметры высоты полёта H(м), при заданных $\alpha=40^\circ$, V=130 км/час и соответствующих значениях fs и Sx при методике сканирования SINE, соответствующие им фиксированные величины поверхностной плотности массива ТЛО D и поперечного интервала Sy.

Таблица 12. Параметры высоты полёта при методике сканирования RASTER, V=65 км/час.

D _{общ.} (N /кв.м)	Sy(М)	S _x (М), φ, V, f	Частота зондирования F (кГц)							
			500	450	400	350	300	250	200	150
2	1,35	V=65 φ=40° S _x =0,37 м, км/ч, f=48 Гц	19336	17402	15469	13535	11602	9668	7734	5801
2.5	1,08		15469	13922	12375	10828	9281	7734	6188	4641
5	0,54		7734	6961	6188	5414	4641	3867	3094	2320
7.5	0,36		5156	4641	4125	3609	3094	2578	2063	1547
10	0,27		3867	3480	3094	2707	2320	1934	1547	1160
12.5	0,21		3094	2784	2475	2166	1856	1547	1238	928
15	0,18		2578	2320	2063	1805	1547	1289	1031	773
17.5	0,15		2210	1989	1768	1547	1326	1105	884	663
20	0,13		1934	1740	1547	1354	1160	967	773	580
25	0,10		1547	1392	1238	1083	928	773	619	464

Параметры высоты полёта H(м), при заданных φ=40°, V=65 км/час и соответствующих значениях fs и Sx при методике сканирования RASTER, соответствующие им фиксированные величины поверхностной плотности массива ТЛО D и поперечного интервала Sy.

Таблица 13. Параметры высоты полёта при методике сканирования TRIANGLE, V=65 км/час.

D _{общ.} (N /кв.м)	Sy(М)	S _x (М), φ, V, f	Частота зондирования F (кГц)							
			500	450	400	350	300	250	200	150
2	5,88	V=65 φ=40° S _x =0,17 м, км/ч, f=107 Гц	37758	33982	30206	26430	22655	18879	15103	11327
2.5	4,70		30206	27186	24165	21144	18124	15103	12082	9062
5	2,35		15103	13593	12082	10572	9062	7552	6041	4531
7.5	1,56		10069	9062	8055	7048	6041	5034	4027	3021
10	1,17		7552	6796	6041	5286	4531	3776	3021	2265
12.5	0,94		6041	5437	4833	4229	3625	3021	2416	1812
15	0,78		5034	4531	4027	3524	3021	2517	2014	1510
17.5	0,67		4315	3884	3452	3021	2589	2158	1726	1395
20	0,58		3776	3398	3021	2643	2265	1888	1510	1133
25	0,47		3021	2719	2416	2114	1812	1510	1208	906

Параметры высоты полёта H(м), при заданных φ=40°, V=65 км/час и соответствующих значениях fs и Sx при методике сканирования TRIANGLE, соответствующие им фиксированные величины поверхностной плотности массива ТЛО D и поперечного интервала Sy.

Таблица 14. Параметры высоты полёта при методике сканирования SINE, V=65 км /час.

D _{общ.} (N /кв.м)	Sy(М)	S _x (М), φ, V, f	Частота зондирования F (кГц)							
			500	450	400	350	300	250	200	150
2	7,14	V=65 φ=40° S _x =0,17 м, км/ч, f=107 Гц	39563	35607	31650	27694	23738	19781	15825	11869
2.5	5,71		31650	28485	25320	22155	18990	15825	12660	9495
5	2,85		15825	14243	12660	11078	9495	7913	6330	4748
7.5	1,90		10550	9495	8440	7385	6330	5275	4220	3165
10	1,42		7913	7121	6330	5539	4748	3956	3165	2374
12.5	1,14		6330	5697	5064	4431	3798	3165	2532	1899
15	0,95		5275	4748	4220	3693	3165	2638	2110	1583
17.5	0,81		4521	4069	3617	3165	2713	2261	1809	1356
20	0,71		3956	3561	3165	2769	2374	1978	1583	1187
25	0,57		3165	2849	2532	2216	1899	1583	1266	950

Параметры высоты полёта $H(m)$, при заданных $\phi=40^\circ$, $V=65$ км /час и соответствующих значениях f_s и S_x при методике сканирования SINE, соответствующие им фиксированные величины поверхностной плотности массива ТЛО D и поперечного интервала S_y .

На величину поверхностной плотности массива ТЛО $D_{\text{общ}}$ также существенное влияние оказывает методика сканирования (способ развертки). Растровый тип развертки (raster) обеспечивает меньшую поверхностную плотность точек при прочих равных параметрах сканирования в сравнении с другими типами зигзагообразных способов развертки sine, triangle, что очевидно объясняется соответствующей геометрией распределения точек на поверхности (развёрткой). При этом развертки sine, triangle обеспечивают примерно одинаковую и в среднем два раза большую плотность $D_{\text{общ}}$ в отличие от способа raster. Отличия между частотами сканирования f_s для разных типов развёрток при фиксированном угле сканирования в комплексе с параметром V оказывает существенное влияние на продольный (вдоль полёта) интервал сканирования S_x при этом влияние на поверхностную плотность сканирования $D_{\text{общ}}$ практически отсутствует при прочих равных параметрах сканирования, принятых в соответствии технической спецификации.

Таким образом, комплекс Leica ALS70-СМ компании Leica Geosystems AG обеспечивает плотность точек $D_{\text{общ}}$ (от 10-25 $1/m^2$) на поверхности сканирования при оптимальных высотах сканирования от 300 м до 1500 м, что принципиально важно для сканирования и измерений морфометрии рельефа в условиях залесенности. В целом, соблюдение условий сканирования с меньшей высоты и на меньшей скорости приводят к существенному увеличению плотности точек $D_{\text{общ}}$, и как следствие, увеличению точек класса «земля» и уменьшению среднеквадратичной погрешности при определении координаты лазерного отражения в пространстве. При этом предпочтительнее применение зигзагообразных способов разверток типа Sine, Triangle обеспечивающих большую плотность в сравнении с растровой разверткой при прочих равных технических условиях выполнения ВЛС.

Следует отметить, приведенные значения получены аналитически исходя из основных геометрических соотношений, характеризующих процесс лазерно-локационной съемки и спецификации комплекса Leica ALS70-СМ.

Однако на практике реальная плотность массива ТЛО класса «земля» оказывается существенно ниже (6-7 $1/m^2$ - в горной местности покрытой лесом в безлиственный период) технически определяемой общей плотности $D_{\text{общ}}$, а также заданными параметрами сканирования и съемки при планировании работ ВЛС в силу выше обозначенных факторов, влияющих на качество съемки и величину D_3 . Современные сканеры по состоянию на 2019

год позволяют получать массив ТЛО общий до 100 точек на $1/m^2$ [150]. Следовательно, плотность массив ТЛО класса «земля» увеличится вдвое или втрое [39].

На практике распределение точек отражения существенно отличается от равномерного вследствие неизбежных колебаний высоты и скорости съемки, при этом равномерность распределения отражений от истинной поверхности земли имеет еще большее отклонение от равномерного характера за счет экранирования отражений растительностью.

Таким образом, обеспечение равномерности и достаточной поверхностной плотности точек класса «земля» в сложных условиях местности является трудно достигаемой задачей и требует оптимизации параметров выполнения ВЛС с учетом конкретных условий наблюдений.

Однако проведение сканирования при соблюдении высоты полёта, сканирование в осенне-весенний период (во время отсутствия листвы на деревьях и снежного покрова) для масштаба 1:500, дешифрирование ОГП для пилотируемых ЛА становится возможным. Для БПЛА и сканирующих систем с высокой плотностью массива ТЛО наличие зеленой листвы не является ухудшающим фактором ввиду лазерных отражений 100 точек на $1/m^2$ [150].

Многочисленные исследования в области сканирования местности с разных высот, а также проведения дешифрирования ОГП, показывают, что распознавание «геоморфологических образов» геологических процессов и явлений в достаточной степени устойчивое (см. таблицу 15).

Таблица 15. Критерии дешифрируемых опасных геологических процессов (по Баборькину М.Ю. и др., 2015) [56, 57].

<i>Регистрируемые процессы и явления</i>	<i>Выделяемые элементы</i>
М 1:500, разрешение фотоснимков на местности от 5-7 см в пикселе плотность точек земли – от 5-9 точек на кв. м. высокая детализация съёмки, чётко фиксируются границы опасных геологических процессов и явлений, проявленных в рельефе:	
<i>оползни</i>	бровки срыва, цирк оползня, язык оползня, рвы отседания, ступенчато-глыбовая поверхность, валы выпирания и наплывы, откосы обрушения и размыва, бугры, западины. Оконтуривание всего тела оползня и т.д.
<i>обвалы и осыпи</i>	поверхность отделения обвалившейся массы, размеры и формы, уклоны, области транзита и т.д.
<i>сели</i>	формы водосборного бассейна и русла, задернованность склона и т.д.
<i>карст</i>	карры, западины, воронки, карстовые блюдца, увалы и т.д.
<i>карстово-суффозионные процессы</i>	воронки, крупные блюдца, западины
<i>лавины снежные</i>	соответствующие формы рельефа, снегосборные карово-эрозионные воронки и т.д.
<i>переработка берегов морей, озёр, водохранилищ</i>	пляжи, береговые бары, томболы или переймы, пересыпи, косы, стрелки, клифы
<i>суффозия</i>	просадочные явления – блюдца, воронки, западины
<i>морозное пучение</i>	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
<i>термокарст</i>	провальные, просадочные явления, натёчные образования (гейзериты и травертины) и явления связанные с мерзлотой (курумы, солифлюкция и т.д.)
М 1:1000, разрешение фотоснимков на местности от 7-10 см в пикселе плотность точек земли – от 3-5 точек на кв.м. с худшей детализацией:	
<i>оползни</i>	бровки срыва, цирк оползня, язык оползня. Оконтуривание всего тела оползня
<i>обвалы и осыпи</i>	поверхность отделения обвалившейся массы, размеры и формы, уклоны, области транзита. Оконтуривание осыпи и обвала
<i>сели</i>	формы водосборного бассейна и русла, задернованность склона. Оконтуривание селевого бассейна
<i>карст</i>	воронки, карстовые блюдца
<i>Регистрируемые процессы и явления</i>	<i>Выделяемые элементы</i>
<i>карстово-суффозионные процессы</i>	воронки, крупные блюдца, западины
<i>лавины снежные</i>	соответствующие формы рельефа, снегосборные карово-эрозионные воронки
<i>переработка берегов морей, озёр, водохранилищ</i>	пляжи, береговые бары, томболы или переймы, пересыпи, косы, стрелки, клифы
<i>суффозия</i>	просадочные явления – крупные блюдца, воронки, западины
<i>термокарст</i>	провальные, просадочные явления, натёчные образования (гейзериты и травертины) и явления связанные с мерзлотой (курумы, солифлюкция и т.д.)

Продолжение таблицы 15.

<i>Регистрируемые процессы и явления</i>	<i>Выделяемые элементы</i>
М 1:2000, разрешение фотоснимков на местности от 10-15 см в пикселе плотность точек земли – от 2-3 точки на кв.м. плохая детализация:	
<i>оползни</i>	бровки срыва, цирк оползня, язык оползня. Оконтуривание всего тела оползня
<i>обвалы и осыпи</i>	поверхность отделения обвалившейся массы, размеры и формы, уклоны, области транзита. Оконтуривание осыпи и обвала
<i>сели</i>	формы водосборного бассейна и русла. Оконтуривание селевого бассейна
<i>лавины снежные</i>	(соответствующие формы рельефа, снегосборные карово-эрозионные воронки
<i>карст</i>	воронки, карстовые блюдца
<i>термокарст</i>	провальные, просадочные явления и явления связанные с мерзлотой большой протяженности (курумы, солифлюкция и т.д.)
<i>переработка берегов морей, озёр, водохранилищ</i>	пляжи, береговые бары, томболы или переиымы, пересыпи, косы, стрелки, клифы
М 1:5000, разрешение фотоснимков на местности от 15- 20 см в пикселе, плотность точек лазерных отражений классификации «Земля» – от 0.5 - 1 точку на кв. м. Выделение границ крупных тел оползней, крупных осыпей и обвалов, селевых бассейнов, курумов имеющих большую площадь, проявление термокарста имеющую большую площадь, проявление карста имеющую большую площадь и т.д.	

«Ссылаясь на требования получения качественной модели местности для построения топографического плана определённого масштаба, к примеру, М 1:1000, необходимо при повторном сканировании получить модель местности, соответствующую требованиям построения аналогичного масштаба» [Баборыкин 2017, патент RU 2655955].

Построение статической модели местности и рельефа производится из массива ТЛО [57, 135]. Каждое лазерное отражение имеет координаты X , Y , Z интенсивность отражений I и время регистрации t [43, 76].

Распределение точек лазерных отражений (ТЛО) образует пространственный образ (геоморфологический образ) исследуемого объекта, который доступен при помощи программных продуктов для визуального анализа, проведению измерительных методов и числительных методов геоморфологического анализа [76].

Данные ВЛС применяемые для построения ЦМР являются положения точек в пространстве [60], имеющие трехмерную матрицу, машинное восприятие которой отличается от рассмотренного выше ввиду работы с двоичными кодами [35].

При переводе получаемого массива ТЛО в программный код для разработки алгоритмов автоматизированного дешифрирования матрица будет иметь вид:

$$\overline{\text{Point}} = \begin{bmatrix} \text{point}_{0,0} & \dots & \text{point}_{0,j} & \dots & \text{point}_{0,Ny+1} & \dots & \text{point}_{0,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{point}_{i,0} & \dots & \text{point}_{i,j} & \dots & \text{point}_{i,Ny+1} & \dots & \text{point}_{i,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{point}_{Nx+1,0} & \dots & \text{point}_{Nx+1,j} & \dots & \text{point}_{Nx+1,Ny+1} & \dots & \text{point}_{Nx+1,Ny} \\ \text{point}_{Nx,0} & \dots & \text{point}_{Nx,j} & \dots & \text{point}_{Nx,Ny+1} & \dots & \text{point}_{Nx,Ny} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Где $\text{point}_{i,j}$ – узел i -ой и j -ой линии пересечения имеющий высотную характеристику пересечения двумерной горизонтальной сеточной модели [35]. Если узел попадает в пределы водоёма (касается лазерного луча спектра в красном диапазоне), то $\text{point}_{i,j}=0$, в ином случае узел имеет запись – показатель высотной отметки. Если при сканировании применялось специализированное оборудование имеющее красный и зеленый сканер, то по такому же принципу производится формирование сетчатой модели дна водоема с условием аппаратного выполнения вычета длины волн красного и зеленого луча.

Учитывая вышеизложенное, имеется теоретическая и практическая возможность сопоставления разновременных сетчатых моделей скомпонованными из данных ВЛС произведенных с приблизительно одинаковыми условиями.

Следовательно, для проведения анализа при дешифрировании и динамики обнаруженного объекта необходимы приблизительно одинаковые сетчатые модели.

Таким образом, важное значение приобретает соблюдение оптимальных условий сканирования, обеспечивающие достаточную поверхностную плотность массива ТЛО на кв.м., отраженных от истинной поверхности земли в конкретных условиях съемки. Величина поверхностной плотности массива ТЛО на кв.м., отнесенных к классу истинной поверхности земли определяется выбором режима ВЛС и параметров съемки, а также зависит от конкретных условий проведения измерений (погодные условия, время суток, высота Солнца над горизонтом и т.д.).

При неверной оценке необходимой поверхностной плотности ТЛО и выбора соответствующего режима сканирования формируемая ЦМР и/или ЦММ может существенно отличаться от истинной поверхности рельефа.

Автором настоящей диссертации проведены исследования в разных климатических зонах в целях применимости массива ТЛО для дешифрирования геологических процессов. Автором настоящей диссертации разработаны критерии дешифрирования «геоморфологических образов» геологических процессов для ЦМР выполненных под построение топопланов масштабов 1:500 – 1:5000 [35, 37, 160, 171, 173, 176, 179, 180].

С учетом проведенных исследований автора настоящей диссертации разработана технологическая схема (см. рисунок 13). в данной схеме использование данных ВЛС которые как правило получены до инженерно-геологических изысканий применяется многократно, при этом сама схема условно поделена на три основных части предполевой (подготовительный этап), полевой (техническая часть) и камеральный (камеральная обработка).

Предполевой (подготовительный этап) период разделен на три этапа:

1) сбор и обобщение доступных материалов отражающих географические, геологические и иные необходимые характеристики [39];

2) формирование ЦМР, обнаружение (декодирование) ОГП, классифицирование (интерпретация) по классу, виду и типу, а также их определение – опасен / не опасен. Построение контурных карт ОГП с дальнейшей передачей проектировщикам [39, 49];

3) Получение характеристик ОГП, информации о геологических структурах и типов грунтов по генетическим типам по ЦМР [39, 49, 56, 75,].

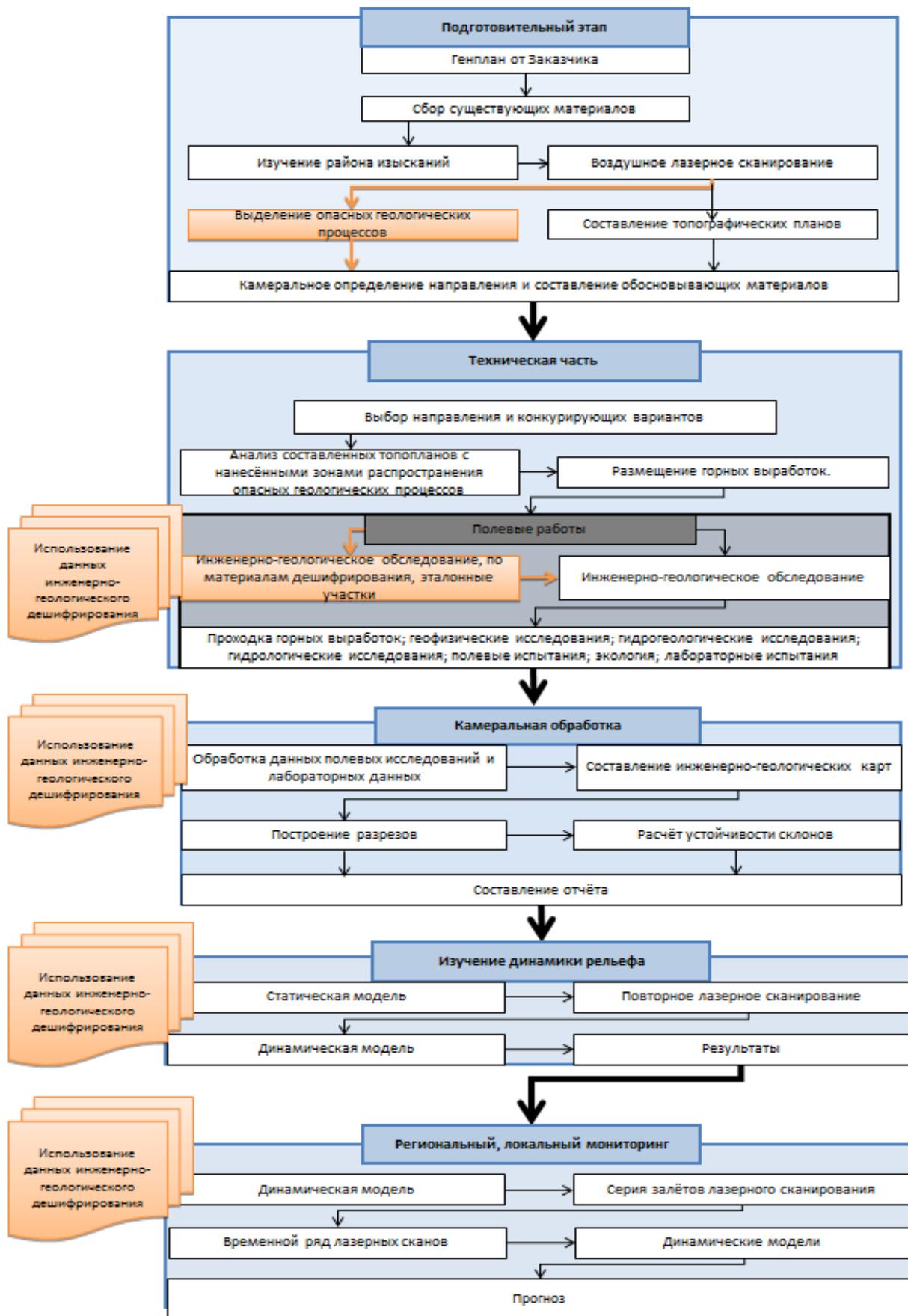


Рисунок 13. Оптимальная логическая схема комплекса инженерных изысканий с встраиванием инженерно-геологического дешифрирования (по автору, 2014) [49].

Определяемые количественные характеристики – размеры (периметр, площадь, длина, ширина, поперечник), крутизна склона на котором расположено то или иное «геологическое явление», уклоны бровок срыва, амплитуды смещения грунтов, аккумуляция и денудация грунтов, размеры водосборных площадей, прогнозная глубина зеркала скольжения для оползней (по внешнему облику), размеры и глубины эрозионных процессов и т.д. [39, 49], а также типы грунтов по классу (подвиду – согласно (ГОСТ 25100) [77] по прямым и косвенным признакам [11, 49, 56, 75].

Этапы *Техническая часть* и *Камеральная обработка*, указанные в оптимизированной логической схеме, соответствуют работам, регламентированным нормативными документами (СП 47.13330.2012) [136], (СП 47.13330.2016) [137], (СП 11-105-97, часть I-IV) [139], (СП 317.1325800.2017) [140], (СП 420.1325800.2018) [141] и полностью соответствуют полевым и камеральным работам, а также требованиям согласно нормативным документам, применяемым при проведении инженерных изысканий, проектирования и строительства [39, 49, 56].

3.2.2 Сравнение с типизированными моделями

Первичными факторами определения «геоморфологического облика» того или иного ОГП (для будущего сооружения) служат: рельеф, литология, климатическая зона. Производными: состояние рыхлого чехла и протекающие в нем процессы, сейсмичность и растительность. Совокупность перечисленных факторов является определяющей к инженерно-геологическим условиям внешнего облику ОГП. Например, при сходе оползня образуются ярко выраженные элементы: бровка срыва, бровка главного уступа, тело оползня, бугры, западины и т.п. [39, 75, 95, 115, 129]. В дальнейшем при стабилизации под воздействием денудации происходит сглаживание ярко выраженных геометрических форм, происходит восстановление почвенно-растительного слоя и зарастание деформационного участка растительностью.

Дешифрирование ОГП основано на определении физиономических характеристик того или иного объекта, отображенного на ЦММ и сравнении их с эталонными моделями, обладающими набором признаков (см. таблицу 17).

Учитывая, что дешифрирование ОГП по данным ВЛС ведётся по прямым признакам – очертания геологических объектов, необходимо помнить, что для некоторых типов инженерно-геологических объектов наборы признаков может быть неполным или переменным, это в какойто мере зависит от занимаемой позиции в рельефе из определения наличия первичных (см. Приложение Б).

Методика базируется на выявлении первичных и вторичных составляющих [39]. Пример представлен на рисунке 14, в данном случае определяются первичные составляющие, к какому виду относится геологический процесс (см. таблицу 16) [39].

Таблица 16. Типизация «геоморфологического образа» [39]

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

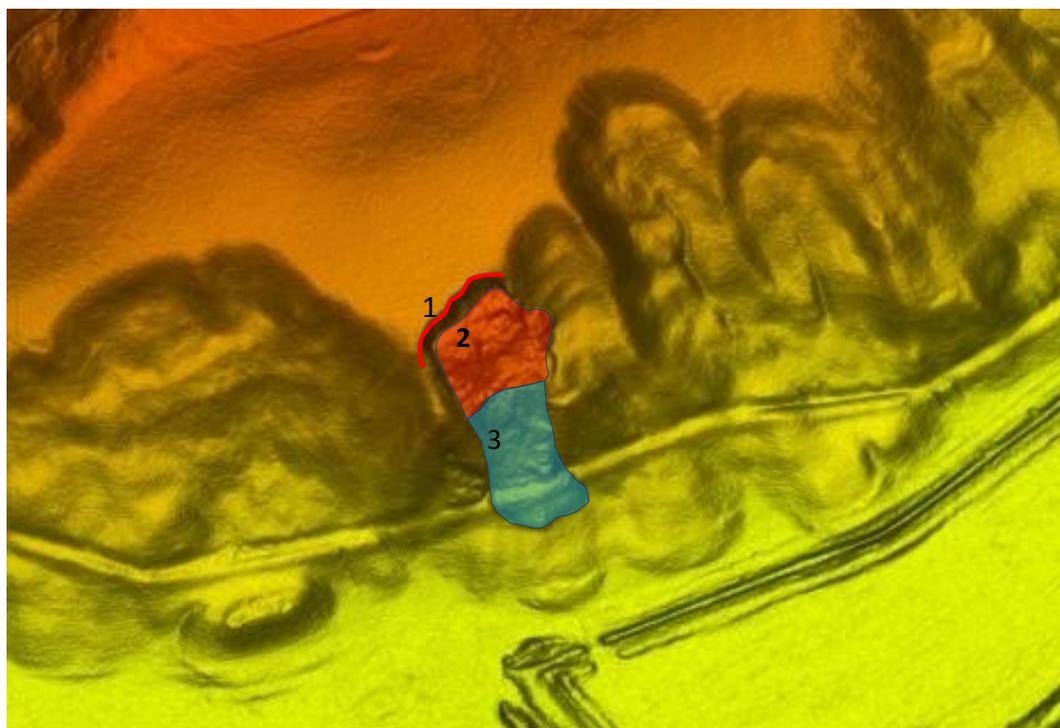


Рисунок 14. Оползень с первичными составляющими «геоморфологического образа» (по Баборыкину М.Ю., Бурцеву А.А., 2019) [39].

1 - бровка срыва; 2 - голова оползня; 3 - подошва оползня.

Вторичные составляющие «геоморфологического образа» отображающие его тип, в данном случае по механизму – по примитивам оползень пластичного течения. Интерпретация производится путём сравнения с типизированной моделью (см. рисунок 15) [39].

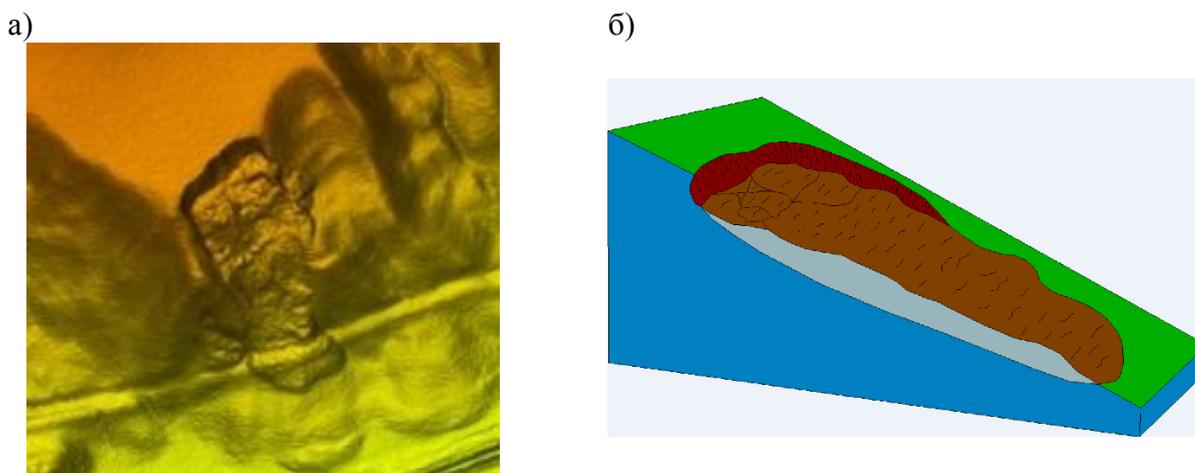


Рисунок 15. Сравнение «геоморфологического образа» оползня с типизированной моделью (по Баборыкину М.Ю., Бурцеву А.А., 2019) [39].

а) – ЦМР с определенным видом «геоморфологического образа» геологического процесса;

б) – типизированная модель оползня вязко-пластичного течения.

Следует отметить, что «Подтип» относящийся ко вторичной составляющей указывает на активность или стадию активности протекания процесса: т.е. яркая выраженность очертания бровки срыва и её степень подверженности денудации, явно или не явно выраженные границы оползневого тела, наличие тонкоструйчатой или линейной эрозии, текстурные особенности, расположение бугров и подверженность их денудации, наличие растительности (см. рисунок 16).

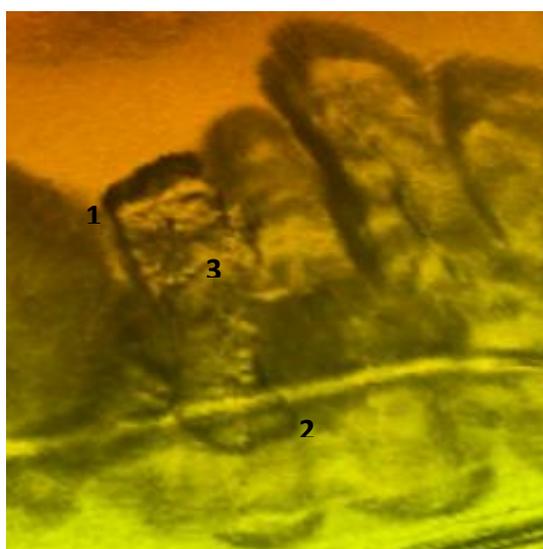


Рисунок 16. ЦМР. Выделение вторичной составляющей «Класс» (по Баборыкину М.Ю., Бурцеву А.А., 2019) [39].

1 – бровка срыва; 2 – граница тела оползня; 3 – бугры (текстурные особенности оползневого тела).

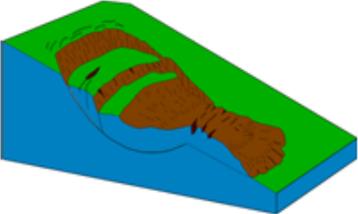
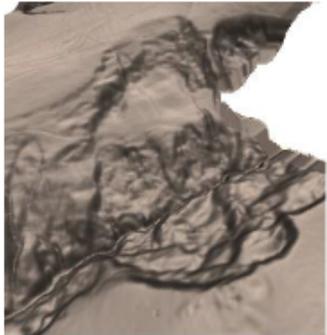
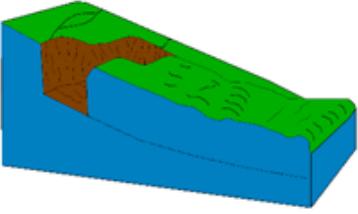
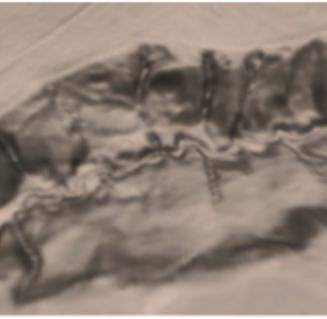
Данный подход в дальнейшем может быть применен для автоматизированного дешифрирования геологических процессов по данным сканирования (LiDAR), «а также при обучении нейронных сетей при выполнении данных задач» [39, с 40].

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 того или иного «геоморфологического образа» ОГП» [39, с 40];

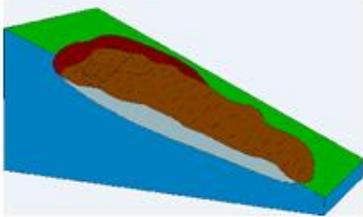
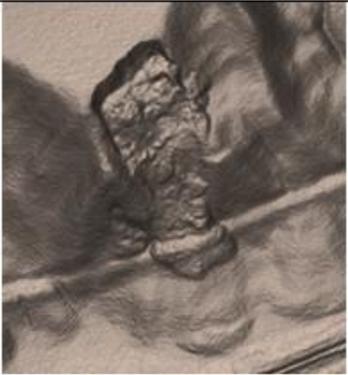
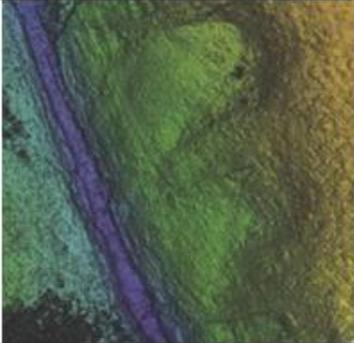
2 этап: «определение «Типа» - сравнение процесса с типизированной моделью из каталога (по расположению идентификационных примитивов на цифровой модели рельефа и типизированной модели)» [39, с 40] (см. таблицу 17);

3 этап: «определение «Подтипа», самый сложный процесс – это обучение нейронной сети работать со структурно-текстурными особенностями «геоморфологического образа» ОГП» [39, с 40].

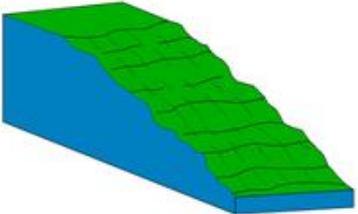
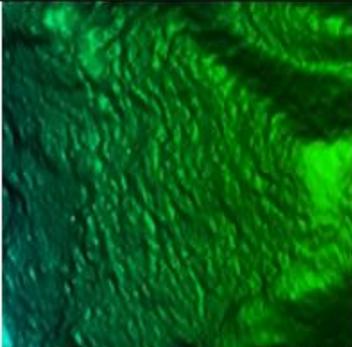
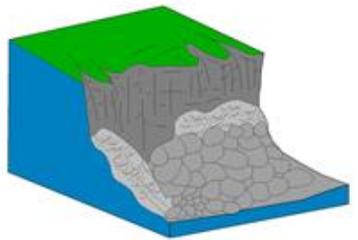
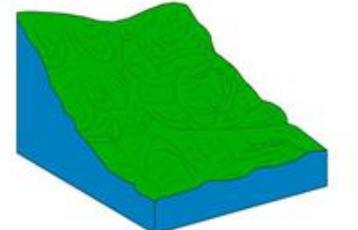
Таблица 17. Некоторые виды типизированных моделей.

Класс	Вид	Тип	Эталонная 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.
		Поступательный			Оползневой цирк; бровка уступа; вершина оползневого тела (разрушена продольными и/или поперечными трещинами); разрыв (трещина зияния); уступ главный (первый от бровки уступа); валы, бугры, западины (средняя и нижняя часть); трещины растяжения, поперечные и продольные.

Продолжение таблицы 17.

Класс	Вид	Тип	Эталонная модель	Геоморфологический образ на цифровой модели рельефа	Описание элементарных примитивов
1	2	3	4	5	6
Гравитационный	Оползень	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.

Продолжение таблицы 17.

Класс	Вид	Тип	Эталонная модель	Геоморфологический образ на цифровой модели рельефа	Описание элементарных примитивов
1	2	3	4	5	6
Гравитационные	Крип	При переувлажнении			Валы перпендикулярно плоскости падения склона; уступы перпендикулярно плоскости падения склона; поперечные трещины зияния; поперечные трещины.
	Осыпи	Каменная осыпь			Конусы у подножий склонов; Шлейфы у подножий склонов.
	Солифлюкция	Солифлюкция			Западины, валы и трещины перпендикулярно плоскости падения склона; бугры.

Модели сформированы автором настоящей диссертационной работы

3.3 Алгоритмизация проведения дешифрирования

3.3.1 Предварительная подготовка и обработка материала

Исследования требуют наборы определенных видов первичной информации, также полученной на основе анализа космических и аэрофото материалов, комплексно связанных с ЦМР, полученными за счёт лазерной и радиолокации [19, 37, 48, 78, 119]. Предпроектные решения (подготовительный этап, см. рисунок 14) должны базироваться на обзорных материалах: макрорельефе и космо- аэрофотоснимках, позволяющих изучать значительные площади. В случае применения только ВЛС используется макро- и мезорельеф (позволяющий создавать топопланы М 1:5000) в комплексе с мозаикой аэрофотоснимков, выполняемых как неотъемлемый элемент лазерного сканирования. Сканирование с более плотным массивом точек лазерных отражений (для создания топопланов М 1:500 позволяет многозадачно дешифрировать ЦММ для всех стадий инженерных изысканий:

- 1) дешифрирование макрорельефа для фиксирования проявлений ОГП и выбора конкурирующих вариантов трассы.
- 2) дешифрирование мезорельефа для получения качественных и количественных характеристик ОГП в выбранном коридоре будущего линейного сооружения, или площадного сооружения.
- 3) дешифрирование и изучение в динамике микрорельефа – выделение элементов того или иного опасного геологического процесса, описание согласно требованиям, при проведении инженерно-геологической съёмки встреченного «геологического процесса» и проведение мониторинга с целью измерения количественных параметров ОГП.

В качестве вспомогательного материала целесообразно использовать фондовые материалы, космоснимки и карт материалы различного масштаба и назначения.

Материалы для подготовительного этапа. Карт материалы, составляемые на подготовительном этапе (см. рисунок 14), выполняются на базе макрорельефа ЦММ (в том числе ЦМР) полученной при радиолокационной космической съёмки и/или ВЛС в совокупности со вспомогательными материалами. Масштабы карт для подготовительного этапа от М 1:100 000 до М 1:25 000 на бумажных носителях и на цифровых носителях в ГИС до М 1:500. Выделяются контура ОГП, то есть качественные характеристики (первичное дешифрирование) – расположение в пространстве, расположение (границы без цифровых значений), проявления на одном таксономическом районе и т.д.

Полученная информация служит основным справочным материалом при районировании территории и выборе конкурентоспособных вариантов проектируемого линейного сооружения или местоположения площадного объекта.

Конечным результатом являются: контурная карта распространения опасных ОГП и карта геологических условий, которая может быть совмещена с контурной.

Данный материал служит обоснованием для выбора конкурентных направлений линейных сооружений или расположения объектов на площадках, прогноза изменений среды и назначению мер по её охране и предварительной стоимости строительства, [104].

Материалы углубленной обработки на подготовительном этапе после выбора конкурентоспособных вариантов. На стадии углубленной обработки в блоке дешифрирования ОГП составляются инженерно-геологические карты М 1:5 000 – М 1:500, по данным первичного дешифрирования. Производится детальное дешифрирование и картирование всех неблагоприятных мест для будущего линейного сооружения, получают качественные и количественные характеристики ОГП выявленных на подготовительном этапе попавших в коридор проектируемого линейного сооружения или площадного объекта. На данном этапе, целесообразно работать как с макрорельефом, так и с мезо- и микрорельефом ЦМР. Например, задачи, решаемые для картирования оползня и дальнейшего изучения динамики, требуется анализ мезо- и микрорельефа, для выявления общего тектонического строения изучаемого протяженного участка, требуется анализ макрорельефа, современного с разномасштабными космоснимками. Данный материал является основой для планирования инженерно-геологических изысканий – возможное изменение проектных решений до полевого изучения местности, расстановка горных выработок и т.п.

На техническом этапе материал, полученный при дешифрировании материал заверяется в поле, одновременно служит уже сформированным каталогом, решающим задачу обследования территории и проблемы при поиске возможных зон распространений того или иного геологического процесса (имеющего статус ОГП), или их совокупности. Используется как основа для составления инженерно-геологической карты условий, инженерно-геологического районирования и т.д. [38].

3.3.2 Проведение декодирования геологических процессов и первичной интерпретации

Обязательным условием успешного применения метода дешифрирования по данным ВЛС служит обнаружение закономерных связей между внутренним строением литосферы и ее отиском на земной поверхности, отраженным на цифровых моделях рельефа. Производится сопоставление типизированных (эталонных) моделей геологических процессов с распознанными геоморфологическими образами ОГП.

Современные технические возможности лазерного сканирования позволяют создавать цифровые модели местности с точностью определения ТЛО в пространстве не хуже 4 см, а в дальнейшем будущем погрешность может составлять первые миллиметры [доклад «Релятивистская геодезия и её практические приложения» сделанный Фатеевым В.Ф. Конференция «Геодезия. Маркшейдерия. Аэросъёмка. На рубеже веков» 14-15 февраля 2019].

Основными критериями выделения ОГП являются, форма и рисунок изображения, являющиеся уникальными для того или иного геологического процесса, отображаемого на поверхности.

Декодирование ОГП (пример). Выделение ОГП производится по первичным признакам, т.е. к какому «Классу и Виду» относится декодированный процесс или явление (см. рисунок 17).

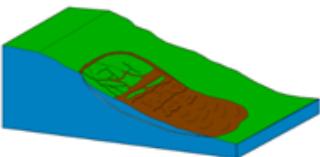
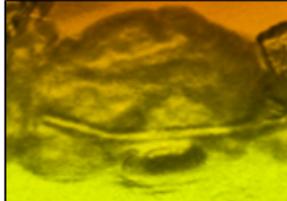
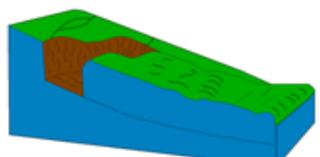
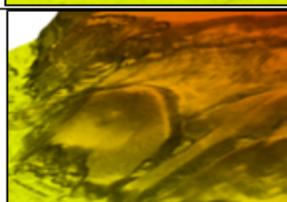
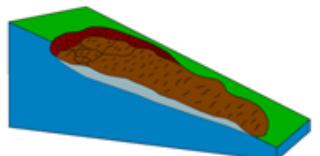
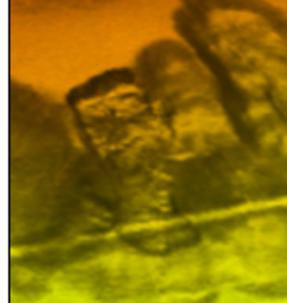
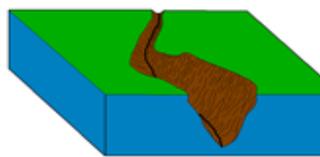


Рисунок 17. Цифровая модель рельефа с плотностью точек лазерных отражений от поверхности грунта до 10 на 1 м кв. и среднеквадратичной погрешностью 6 см. Выделение ОГП по первичным признакам (по автору, 2019).

Определение типов ОГП производится с применением метода эквивалента (сравнение с типизированными моделями) (см. таблица 18) по вторичным признакам, определение «Типа» (см. рисунок 17).

Пример определения типов геологических процессов по модели ЦМР на одном из участков объекта, пример: «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края «газификация Тамани».

Таблица 18. Фрагмент таблицы типизированных моделей опасных геологических процессов.

Класс	Вид	Тип	Эталонная модель	Геоморфологический образ на лазерном скане
1	2	3	4	5
Гравитационный	Оползни	Вращения		
		Плоского смещения		
Гравитационный	Оползни	Вязкопластический		
Поверхностные воды	Эрозия	Донная временными водотоками (овражная)		

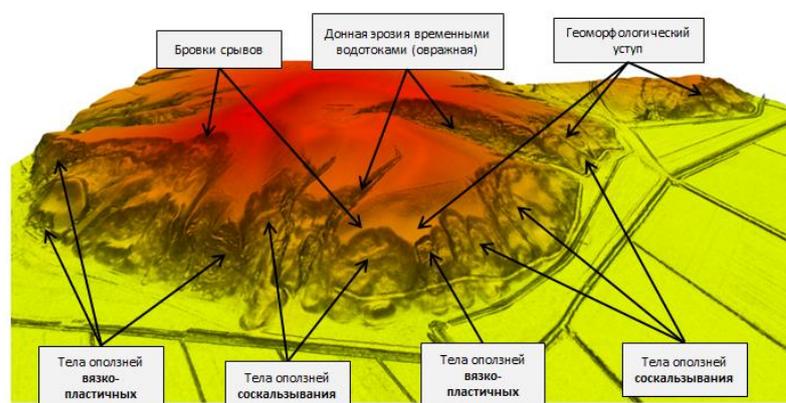


Рисунок 18. Цифровая модель рельефа с плотностью точек лазерных отражений от поверхности грунта до 10 на 1 м кв. и среднеквадратичной погрешностью 6 см. Выделение аномалий на цифровой модели рельефа, созданных геологическими процессами – эрозионных врезов, бровок срыва, тел оползней и образованного за счет геологической структуры геоморфологического уступа (по автору, 2019).

Интерпретация ОГП (пример). Определение типа рельефа производится по устойчивому сочетанию форм рельефа, закономерно повторяющихся на обширных пространствах литосферы, имеющих сходное происхождение, структурно-геологическое строение и историческое развитие.

Выделяются три больших группы рельефов – горный, холмистый и равнинный, подразделяющиеся на типы [87, 92, 115, 127, 130].

Пример – описание рельефа по модели ЦМР на одном из участков объекта «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края «газификация Тамани». Определение типа рельефа – рельеф низкогорный структурно-эрозионно-денудационный.

Определение типов четвертичных отложений. Изучение толщ четвертичных отложений по ЦМР и ЦАФС предполагает, как и в случае натурального обследования деление на парагенетические комплексы. Применяются прямые и косвенные признаки (тон и цвет изображения, текстурные особенности и т.д.) [75].

Пример – описание типов четвертичных отложений по модели ЦМР (совмещенной с ЦАФС) на одном из участков объекта «газификация Тамани». Дешифрирование четвертичных отложений – судя по характеру эрозионных врезов и распространению осовов и оползней - рыхлые отложения предположительно мелкодисперсные. Генетические типы по мезорельефу – грязевулканические отложения перекрытые делювиальными на водоразделе и приводораздельном склоне; склоны – деляпсий; речная долина (район канала и рисовых чеков) – аквальные (аллювиально-лимнические); выделяются конуса выноса временных водотоков – пролювий.

Дешифрирование эндогенных геологических процессов – выделяется конус неактивного древнего грязевого вулкана (см. рисунок 19).

Дешифрирование экзогенных геологических процессов – донная эрозия временных водотоков (овражная эрозия), оползни, крип (см. рисунки 17, 18).

Выделена донная эрозия временного водотока (овражная), тела оползней и их типы [Баборыкин 2020] (<http://izvestiya-tpu.ru/archive/article/view/2727/2270>).

Ряды	Генетические типы	Индекс, цвет	Краткое описание
Коллювиальный	Делящийся (гравитационный)	ср	Оползневой
Авальный	Проллювиальный	р	Отложения временных водных потоков (слагают конусы выноса в их устье)
	Аллолювиально-ливиальный	al	Неразделённые отложения реки и прибрежных озёр
Вулканогенный	Грязевулканический	п Q-N	Отложения грязевых вулканов перекрытые делювиальными отложениями

Схема современных геологических процессов и условий
3D модель рельефа соответствует масштабу топографо-геодезической съёмке 1:500

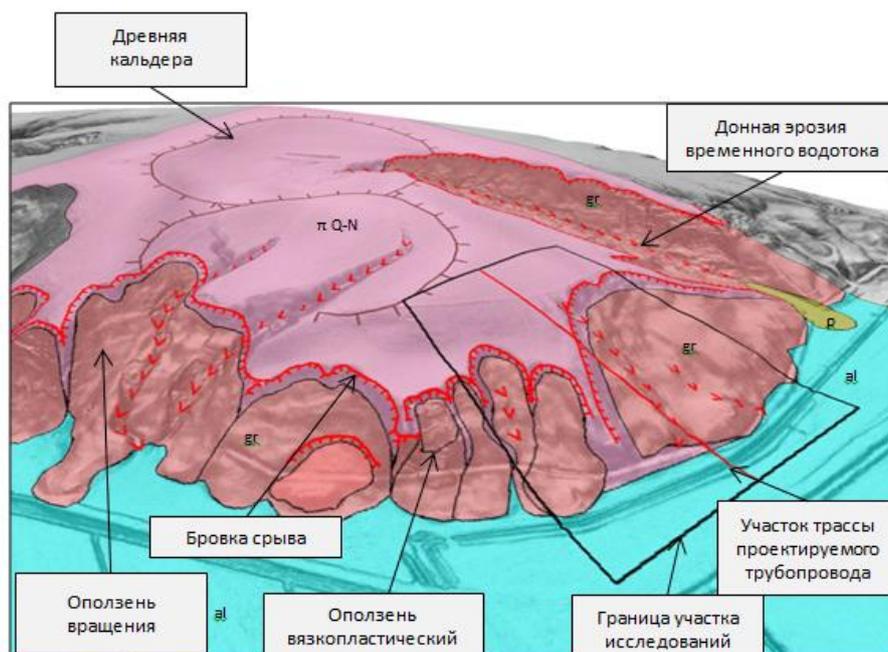


Рисунок 19. Схема современных геологических процессов и условий. Схема создана на основе методики дешифрирования данных воздушного лазерного сканирования (по Баборыкину М.Ю., Бурцеву А.А., 2019) [39].

Интерпретированная ЦМР является наглядной для ГИС и также применима для формирования геологических моделей, используемых в базах данных для проведения мониторинга и является обосновывающим материалом при принятии проектных решений на стадии выбора конкурирующих направлений при предпроектной проработке.

3.4 Методика определения качественных характеристик

Качественные характеристики того или иного ОГП говорят о его активности. «К ним относятся явно или не явно выраженные границы сформированных геологических тел в случае формирования дерубция, десперсия, деляпсия, пролювия, солифлюксия, делювия (связанных с их образованием процессов, пример: оползень, конус осыпи, коллювиальный клин, конус выноса и т.д.) и непосредственно проявлений процессов, разрушающих поверхность грунта за счет физического и химического выветривания (эрозия, карстообразование, процессы, связанные с многолетнемерзлыми грунтами и др.)» [39, с 40].

Учитывая, что на дневной поверхности постоянно происходят процессы денудации и аккумуляции, то явно или не явно выраженные формы тел (образованные при аккумуляции)

или формы проявления процессов (связанные с денудацией) являются индикатором активности, указывающие оператору-интерпретатору или, в будущем, нейронной сети на степень активности процессов.

Примером служит рисунок 20, на котором явно выражены составные элементы, включая текстуру микрорельефа «геоморфологического образа», оползня расположенного в центре рисунка и элементы, имеющие более сглаженные очертания и текстуру микрорельефа.

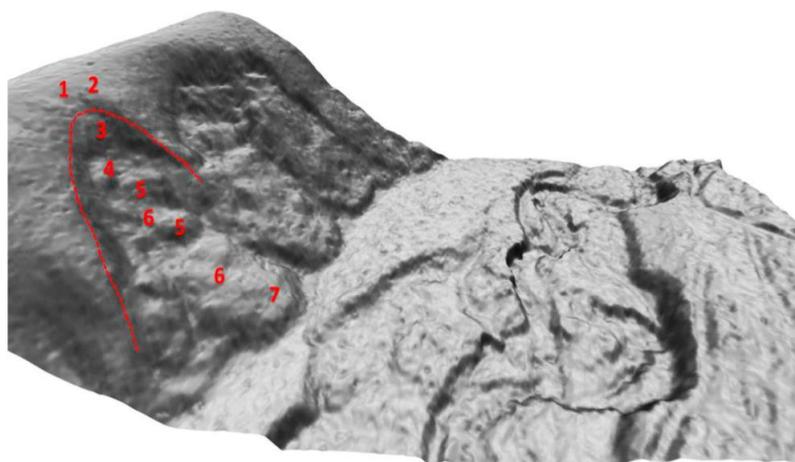


Рисунок 20. 3D модель рельефа ВЛС выполненного в благоприятных условиях (воздушный лазерный сканер ALS70-СМ), М - 1: 500 (по автору, 2014) [49].

- 1 - цирк оползня; 2 - бровка главного уступа; 3 - главный уступ; 4 - вершина оползня;
5 - внутренний уступ; 6 - неровности поверхности рельефа (валы, бугры и т.д.);
7 - подошва оползня.

Также к качественным характеристикам относятся: внешний вид читаемости границ элементарных примитивов, ярко выраженные границы бровки срыва, но подвергшиеся денудации, имеющие сглаженные формы в перегибах (аномалиях), тело оползня подвержено струйчатой эрозии, подошва оползня подверглась денудации и т.д.

3.5 Методика получения количественных характеристик

Любые ОГП характеризуются величиной, которая является количественной этого процесса. Наибольший интерес при проведении инженерных изысканий представляют метрические характеристики площади проявления процесса, размеры образованного геологического тела и не менее полезные скорости движения образованного геологического тела во времени, скорости денудации или аккумуляции (определяется при повторном сканировании через определённо заданное время).

В разработанной автором настоящей диссертации методике метрические характеристики можно получить как с функцией учета кривизны (истинные), так и без неё (проекция), а прогнозные зеркала скольжения по профилям, количество которых определяется потребностью качества результата (см. рисунок 21) [39].

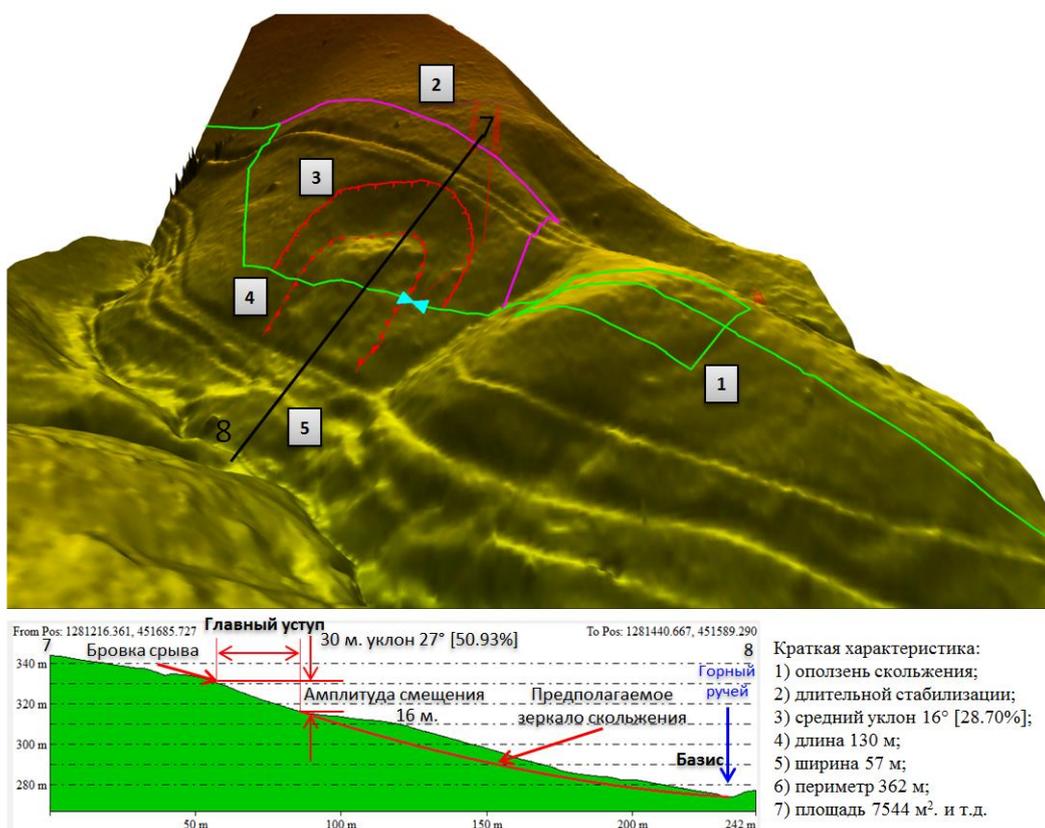


Рисунок 21. Количественные характеристики оползня. Масштаб 1:500 (Северный Кавказ) (по автору, 2015) [54]. 1 - первоначальное положение проектируемого газопровода; 2 - перетрассировка газопровода; 3 - бровка главного уступа; 4 - оползень; 5 - профиль по линии 7-8.

3.6 Результаты практического применения

Методика дешифрирования ОГП (см. Приложение Б) на практике применялась на линейно-протяженных объектах в разных инженерно-геологических регионах (см. рисунок 22) [48-56].

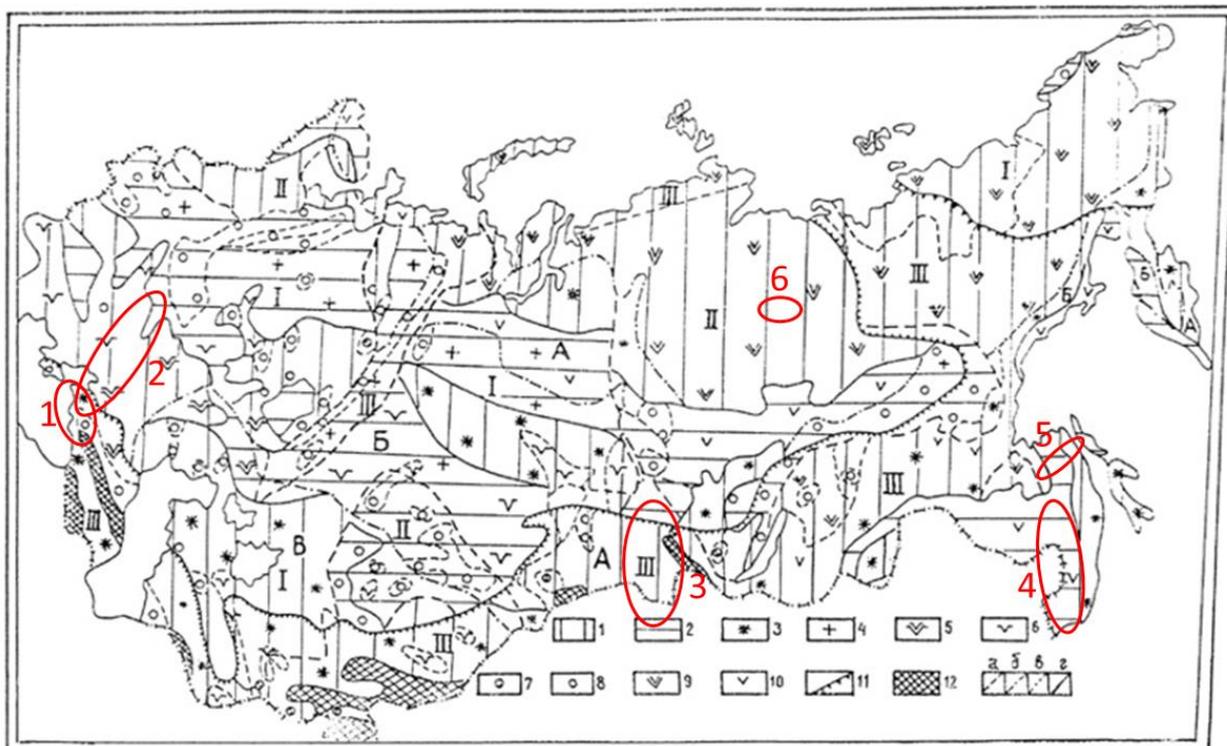


Рисунок 22. Карта схематического районирования России и смежных территорий по устойчивости геологической среды к техногенным воздействиям (по В.Н. Островскому, И. М. Цыпиной, 1992) [90].

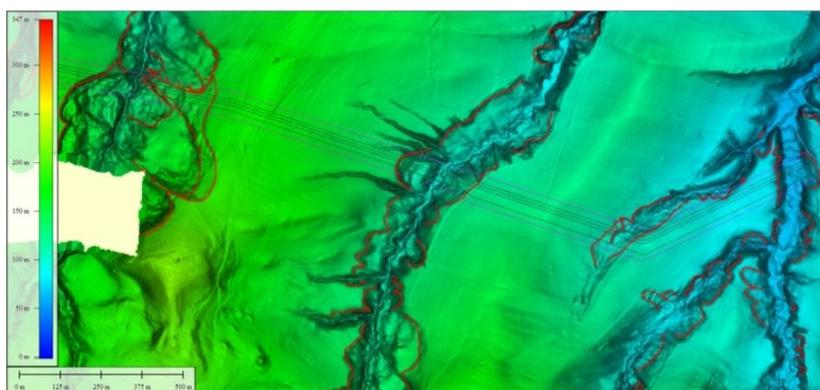
Пояснения к рисунку 22. 1–2 — устойчивость геологической среды: 1 — неустойчивая; 2 — условно устойчивая; 3–11 — основные природные факторы, определяющие устойчивость геологической среды: пораженность ЭГП: 3 — более 25%; 4 — менее 25%; просадочность лёссовых пород: 5 — более 0,01; 6 — менее 0,01; активность карста: 7 — активный на поверхности или на глубине менее 100 м; 8 — слабоактивный преимущественно на глубине более 100 м; ледистость ММП: 9 — более 20 %, 10 — менее 20 %; 11 — сейсмичность (граница территории с сейсмичностью более 6 баллов); 12 — высокогорные территории, труднодоступные для освоения; регионы: I — аккумулятивные платформенные равнины с преобладанием дисперсных пород; II — денудационные платформенные равнины, плато и мелкосопочник (щиты) с преобладанием полускальных и скальных пород; III — преимущественно денудационно-тектоническое низкогорье и среднегорье с преобладанием скальных пород; зоны: А — криолитозона, Б — выщелачивания, В — континентального засоления; а–г — границы: а — регионов, б — зон, в — территорий с проявлением различных ЭГП; г — территорий с различной устойчивостью геологической среды

Выделенные области красными овалами показывают регионы, в которых автор настоящей диссертационной работы применял методику дешифрирования.

Ряд объектов на которых было опробована методика дешифрирования и методики определения качественных и количественных характеристик представлен регионами преимущественно денудационно-тектонического низкогорья и среднегорья с преобладанием скальных пород (регион III, см рисунок 22, выделен красным овалом под цифрой 1).

Зона 1. Проведенное дешифрирование в данном регионе позволило выделить и описать дистанционно (до выезда в поле) оползневые участки (см. рисунок 23). На объекте «Южный Поток» (Турецкий поток) проводилась полевая заверка выделенных ОГП (на этапе интерпретации). Произведена сходимост натурных наблюдений в точках наблюдений с данными декодирования и интерпретации ЦММ/ЦМР (см. рисунки 24-27).

а)



б)

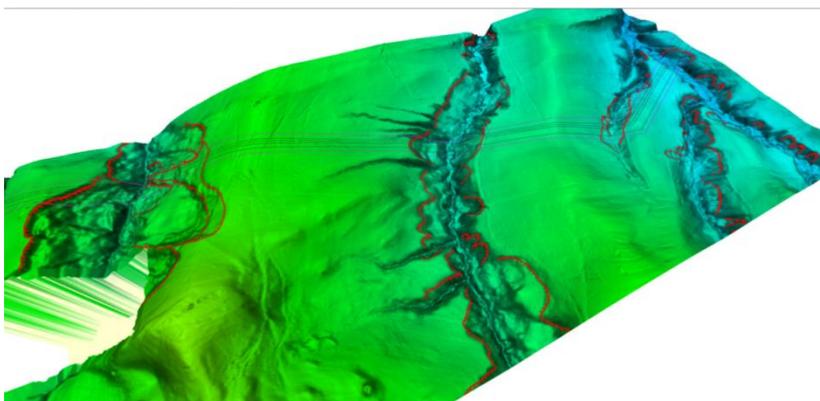


Рисунок 23. Фрагмент модели цифрового рельефа с выделенными контурами оползней, объект «Южный Поток (Турецкий Поток)», М 1:500 (по автору, 2014) [51].

а) вид сверху; б) вид сбоку.

Обработка массива ТЛО в целях получения первоначальных данных не только повышает качество инженерных изысканий, но и помогает на ранних стадиях выявить

участки, на которые следует обратить внимание при принятии предпроектных решений (см. рисунок 24).

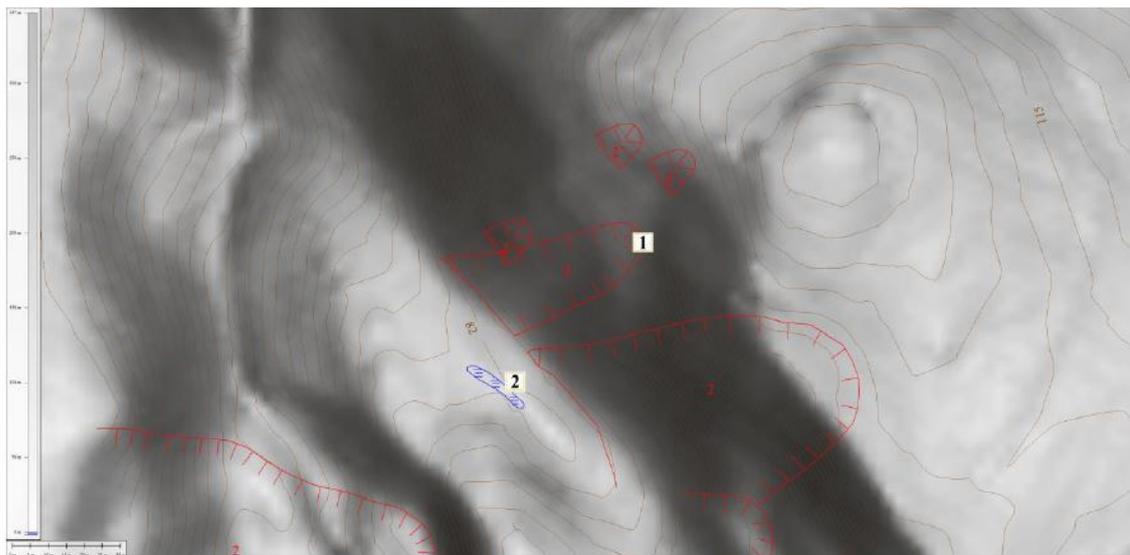


Рисунок 24. Фрагмент опережающей карты опасных геологических процессов. Цифрами черного цвета показаны контуры оползней (1) и заболоченный участок (2); цифрами красного цвета - номера принадлежности оползней к выделенному оползневому участку (по Баборыкину М.Ю., Жидиляевой Е.В., 2014) [17].

Полученные данные после проведения дешифрирования на объекте «Южный Поток» (Турецкий поток) *«становятся вспомогательным материалом для инженерно-геологических изысканий, позволяют понять какие процессы протекают на исследуемом участке, какие генетические типы грунтов на нем могут встретиться»* [17, с 19], какими грунтами ориентировочно сложен объект. *«Во многих случаях остается лишь заверить наличие дистанционно выделенного»* [17, с 19] того или иного ОГП (получившего статус опасный на стадии интерпретации), *«что позволяет не только сэкономить время на стадии инженерно-геологической съемки, но и минимизировать потери информации (возможные при наземной съемке, когда специалист может не заметить на местности протекающий процесс»* [17, с 19], а также снизить техногенную нагрузку на окружающую среду). *«К примеру, бровки срыва оползней достаточно хорошо выделяются – изменения видны как на цифровой модели рельефа (ЦМР), так и на местности. При полевой заверке выявляются преимущества дешифрирования. В части 2 СП 11-105-97 прописано, для чего используется дешифрирование аэро- и космоматериалов»* [17, с 19].

При натурном инженерно-геологическом обследовании изучаемого участка на объекте «Южный Поток» (Турецкий поток) с фотодокументацией выявление ОГП *«по трассам протяженных объектов, особенно в сложных горных условиях, занимает значительное время. Использование 3D модели в целом упрощает решение этой задачи при*

мониторинге, акцентируя внимание только на выделенных зонах. Пример сопоставления данных, полученных при натурном обследовании и при дешифрировании» [17, с 19], представлен на рисунке 25-27.

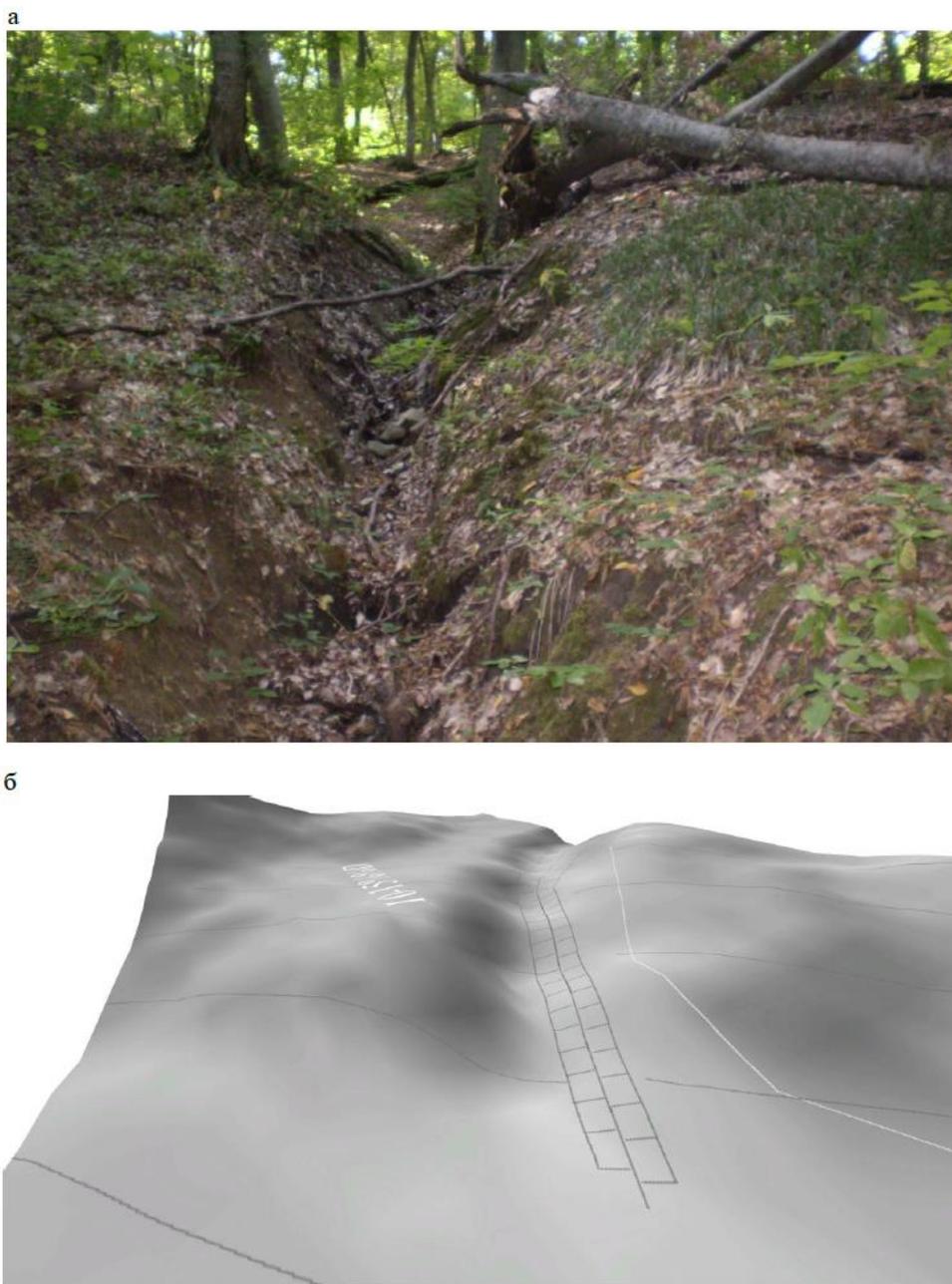


Рисунок 25. Эрозионный врез (а) и 3D цифровая модель рельефа данного участка, совмещенная с топографическим планом (б). Темно-серым цветом показаны изолинии с сечением 0,5 м и эрозионный врез с бергштрихами. Белыми числами указан уклон. Линией белого цвета разделяются участки склона с разными уклонами (по Баборыкину М.Ю., Жидиляевой Е.В., 2014) [17].

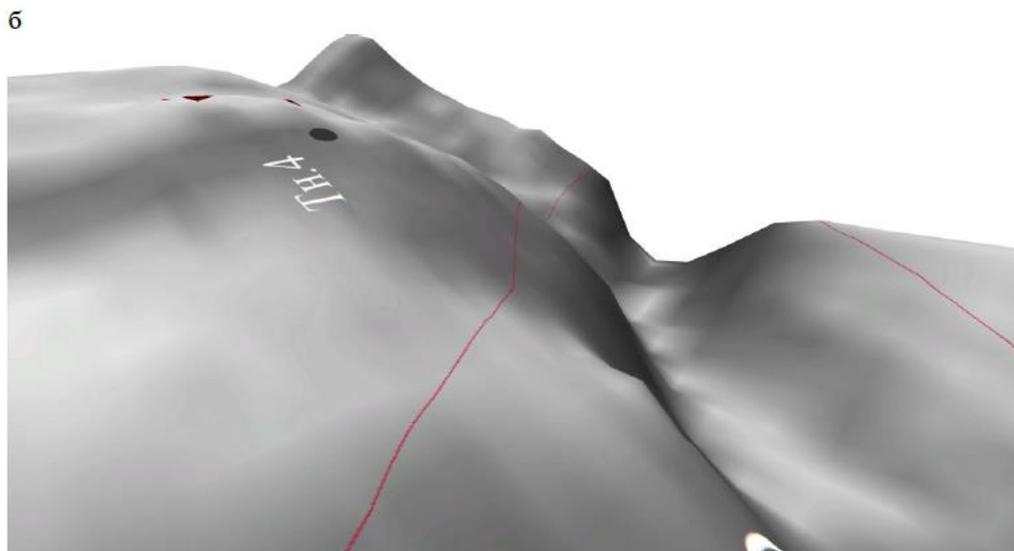


Рисунок 26. Бровка срыва оползня в точке наблюдения № 4 (а) и 3D цифровая модель рельефа данного участка (б). Красные линии - границы участков с разными уклонами; черный кружок - точка наблюдения (Тн.4) (по Баборыкину М.Ю., Жидиляевой Е.В., 2014) [17].

а



б

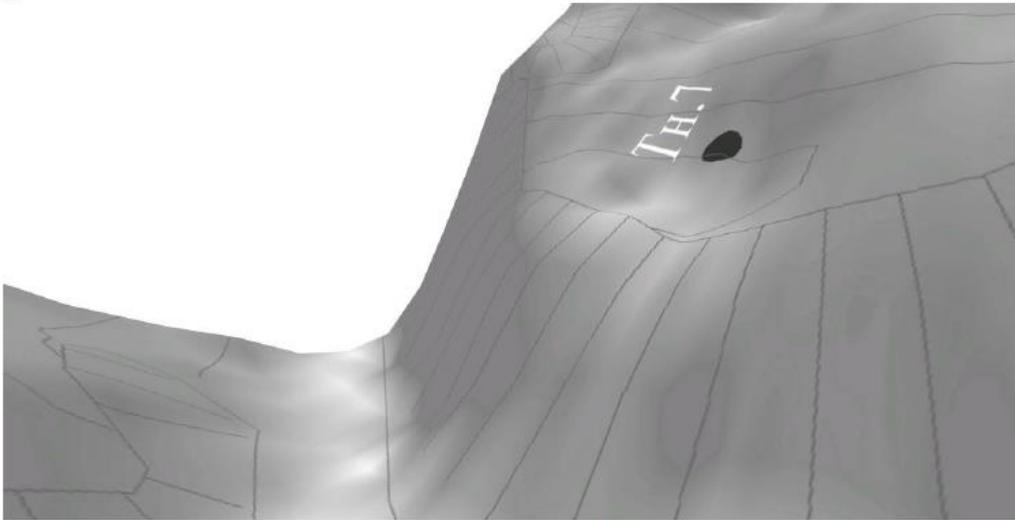


Рисунок 27. Бровка срыва оползня в точке наблюдения № 7 (а) и 3D цифровая модель рельефа данного участка, совмещенная с топографическим планом (б). Темно-серым цветом показаны изолинии с сечением 0,5 м и эрозионный врез с бергштрихами. Черный кружок - точка наблюдения (Тн.7) (по Баборыкину М.Ю., Жидиляевой Е.В., 2014) [17].

Также в зоне 1 (см. рисунок 28) проведено дистанционное обследование в Туапсинском и Анапском районах (см. рисунки 28, 29).

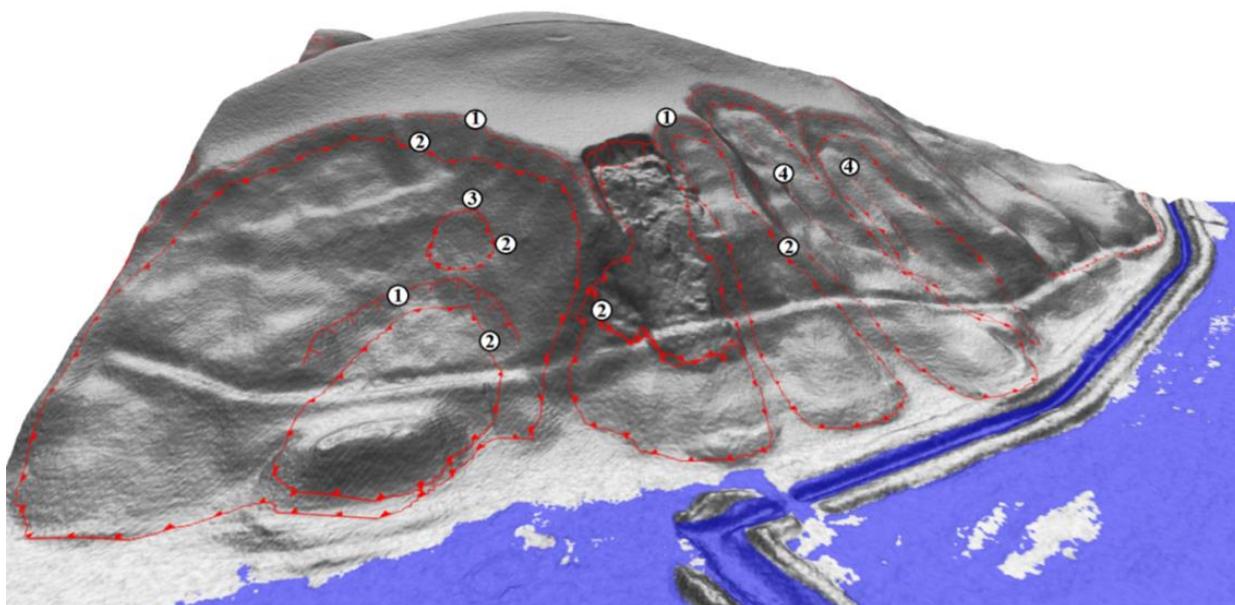


Рисунок 29. Фрагмент модели цифрового рельефа с выделенными контурами оползней, объект «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края «газификация Тамани», М 1:500 (по автору, 2014) [53].

1 - бровка срыва; 2 - тело оползня; 3 - трещина растяжения; 4 - линейная эрозия.

Выполнение дешифрирования по всей области сканирования позволило получить полноценную картину распространения ОГП – выделялись оползневые участки. Это позволило обосновать перетрассирование и опираясь на (СП 116.13330.2012) [144] заложить дополнительные работы по инженерным изысканиям с учётом опасных процессов (см. рисунок 23-29).

Проведение дистанционного обследования территории в зоне 1 (см. рисунок 22) при использовании разработанной автором настоящей диссертационной работы и запатентованной (см. Приложение Б) методики дешифрирования позволило создать карту инженерно-геологических условий на стадии обоснования инвестиций (см. рисунок 30 – 33).

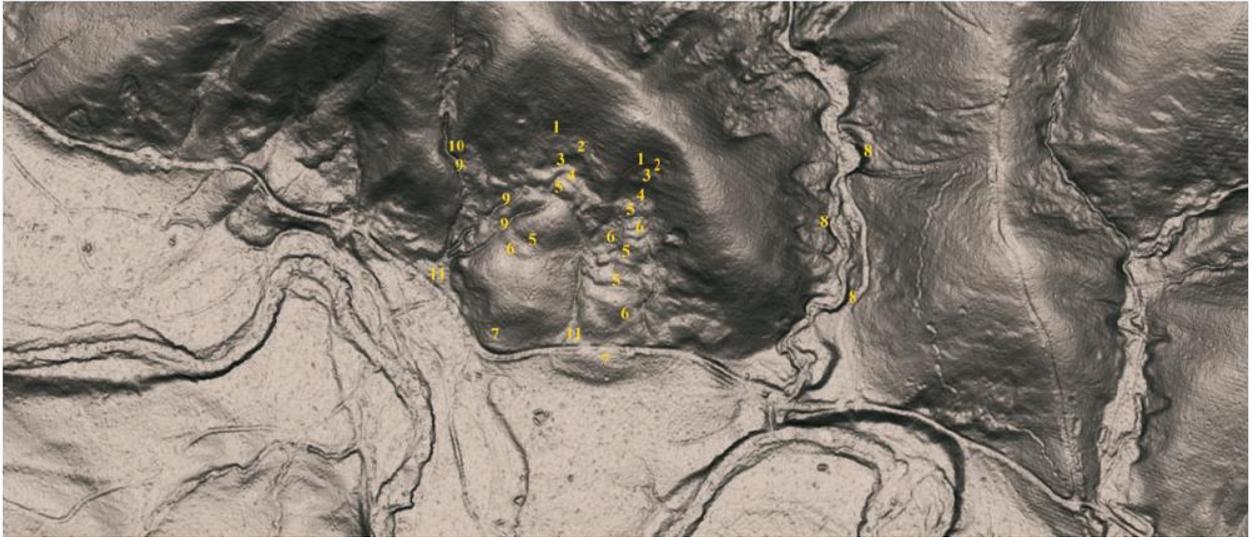


Рисунок 30. Фрагмент модели цифрового рельефа, объект «Продуктопровод, Туапсинский район» (Северный Кавказ), М 1:500 (по автору, 2016) [55].

- 1 - оползневый цирк; 2 - бровка главного уступа; 3 - главный уступ; 4 - вершина оползня; 5 - внутренний уступ; 6 - неровности поверхности рельефа (валы, бугры и т.д.);
 7 - подошва оползня; 8 - берег, переработанный горной рекой (результат боковой эрозии постоянного водотока); 9 - результат линейной эрозии (донной эрозии временного водотока);
 10 - результат линейной эрозии (боковой эрозии временного водотока);
 11 - конус выноса (пролювий).

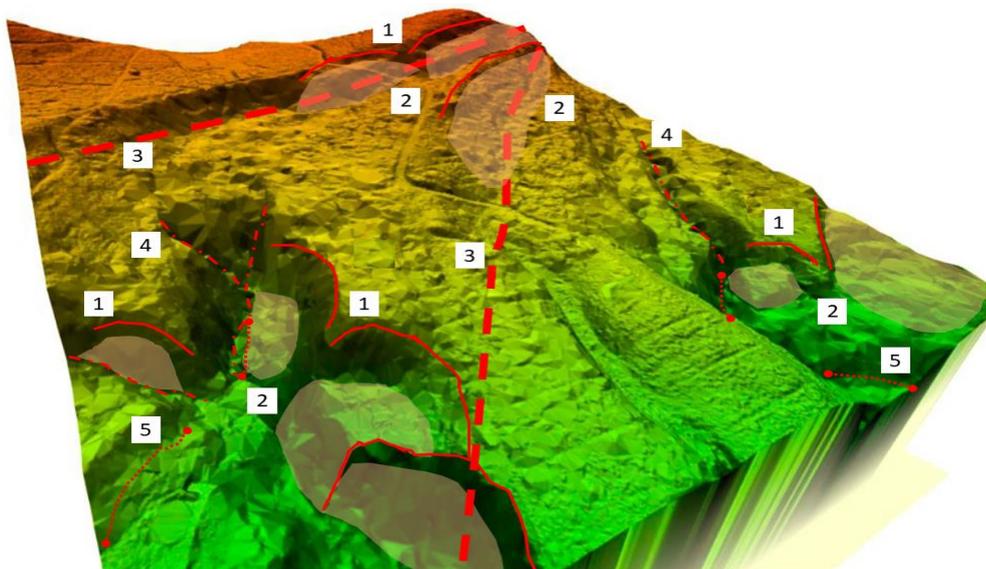


Рисунок 31. Фрагмент модели цифрового рельефа с проведением дешифрирования ОГП, для подготовки контурной карты распространения ЭГП, объект газопровод «Майкоп – Самурская – Сочи» (Северный Кавказ) М 1:2000, (по автору, 2019). 1 - бровка срыва; 2 - оползень; 3 - линеамент; 4 - донная эрозия временного водотока (овражная); 5 - боковая эрозия временного водотока.

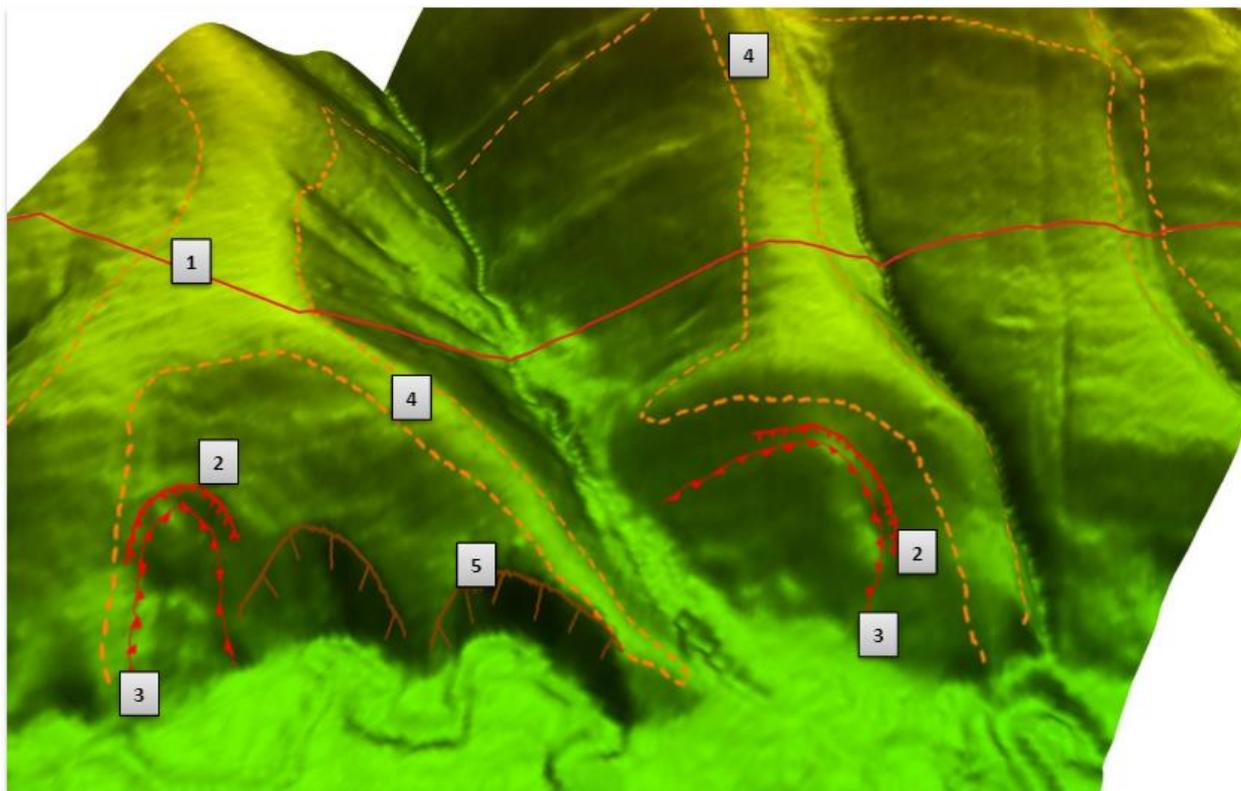


Рисунок 32. Фрагмент модели цифрового рельефа с проведением дешифрирования ОГП, для подготовки контурной карты распространения ЭГП, объект «Реконструкция и расширение газотранспортных мощностей «газопровод Крымск-Верхнебаканский» (Северный Кавказ) М 1:500 (по автору, 2015) [54].

1 - трасса проектируемого газопровода; 2 - бровка главного уступа;
3 - оползень; 4 - зона распространения крипа; 5 - бровка обрыва.

Применение методик определения качественных и количественных характеристик (см. рисунок 33) позволило проектировщикам принять проектные решения по обходу зон с распространением ОГП.

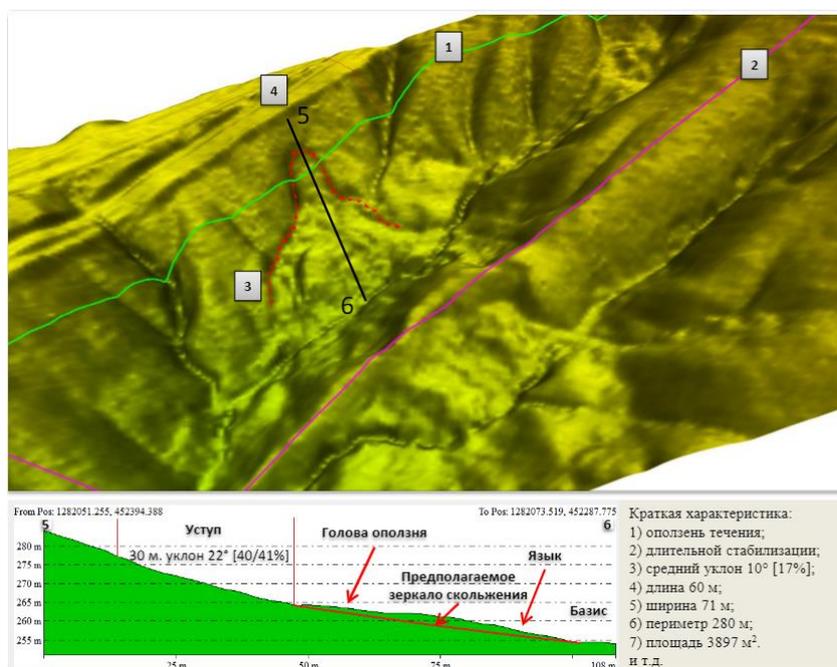


Рисунок 33. Фрагмент модели цифрового рельефа с определением качественных и количественных характеристик ОГП, объект «Реконструкция и расширение газотранспортных мощностей «газопровод Крымск-Верхнебаканский» (Северный Кавказ) М 1:500 (по автору, 2015) [54].

В зоне 1 выполнено по разработанной автором методике дешифрирования и методикам определения качественных и количественных характеристик ОГП порядка пяти крупных линейных объектов.

Также в зоне 1 (см. рисунок 22) проводились комплексные работы по выделению ЭГП и линеаментов разрывных нарушений по данным ВЛС (см. рисунки 34, 35).

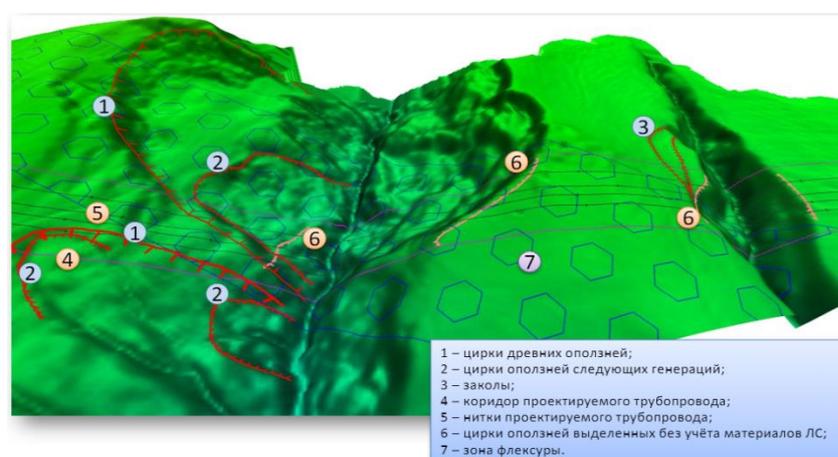


Рисунок 34. Фрагмент модели цифрового рельефа с проведением дешифрирования ОГП, для подготовки контурной карты распространения ЭГП с выделением зоны флексур, объект «Южный поток» (Северный Кавказ) М 1:500. (по автору, 2014) [49].

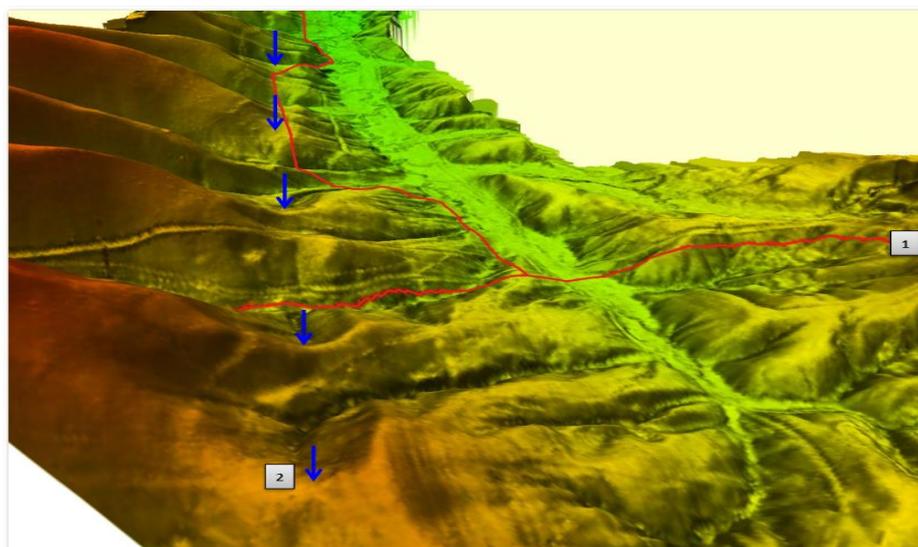
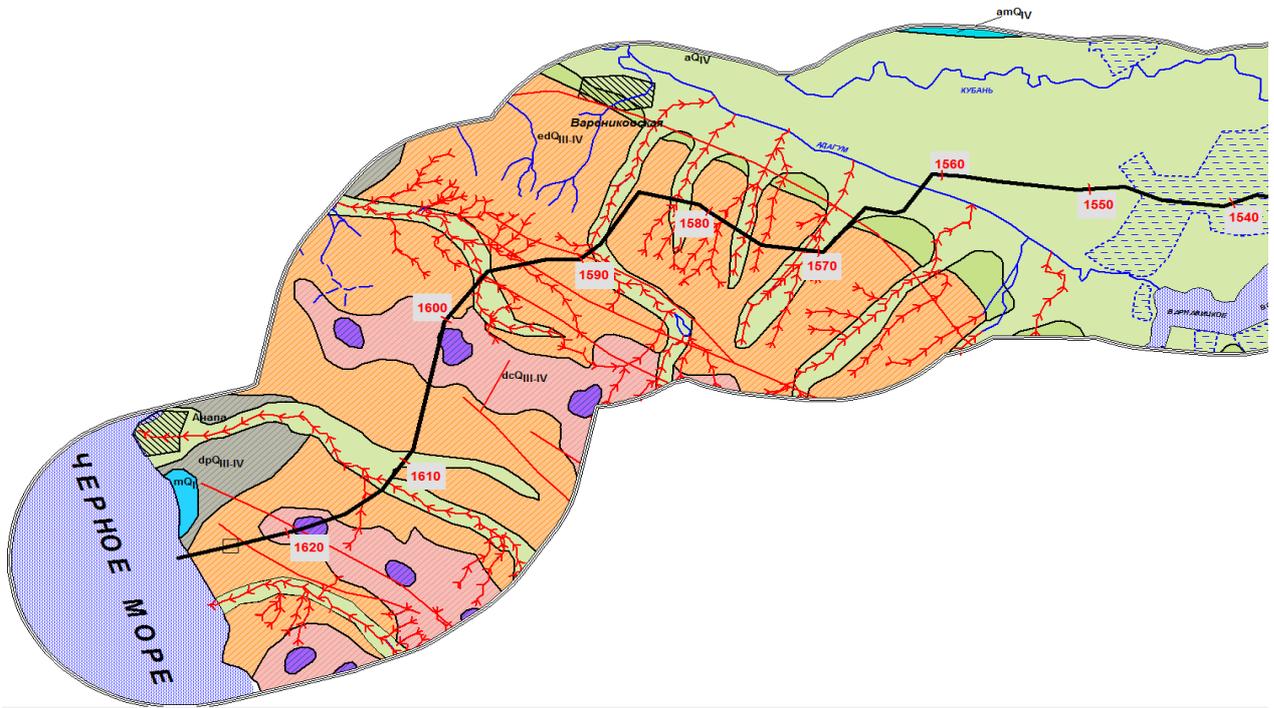


Рисунок 35. Фрагмент модели цифрового рельефа с выделением линеамента разрывного нарушения, объект «Реконструкция и расширение газотранспортных мощностей «газопровод Крымск-Верхнебаканский» (Северный Кавказ) М 1:500 (по автору, 2015) [54].

1 - трасса проектируемого газопровода; 2 - уступ.

В зоне 2 проводилась работа, автором настоящей диссертационной работы, по составлению карты инженерно-геологических условий объекта «Южный Поток» (Турецкий Поток) М 1:200000 на основе комплекса данных космической съёмки, различных карт материалов и ВЛС, выполненного для стадии обоснования инвестиций (см. рисунок 36). Данная работа проводилась по регионам I — аккумулятивные платформенные равнины с преобладанием дисперсных пород; III — преимущественно денудационно-тектоническое низкогорье и среднегорье с преобладанием скальных пород (см. рисунок 22).



Возраст		Генезис		Земельная	Аллювиальная	Ледниковая	Золотая	Коричневая	Бронзово-красная	Средне-красная	Красно-коричневая	Коричневая	Синевато-коричневая	Синевато-серая	Синевато-голубая	Синевато-зеленая	Синевато-белая	Синевато-серая	Синевато-голубая	Синевато-белая
Система	Основные подразделения	Индиксы	Виды грантов	Виды грантов		Виды грантов		Виды грантов		Виды грантов		Виды грантов		Виды грантов		Виды грантов		Виды грантов		
				Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов	Виды грантов
ЧЕТВЕРТИЦА	Современные отложения	Q _{IV}		Q _{IV}	Q _{IV}			Q _{IV}												
	Верхне-четвертичные отложения	Q _{III-IV}		Q _{III-IV}	Q _{III-IV}			Q _{III-IV}												
	Верхне-четвертичные отложения	Q _{III}		Q _{III}	Q _{III}			Q _{III}												
	Средне-четвертичные отложения	Q _{II-III}		Q _{II-III}	Q _{II-III}			Q _{II-III}												
	Средне-четвертичные отложения	Q _{II}		Q _{II}	Q _{II}			Q _{II}												
	Низне-средне-четвертичные отложения	Q _{I-III}		Q _{I-III}	Q _{I-III}			Q _{I-III}												
	Низне-четвертичные отложения	Q _I		Q _I	Q _I			Q _I												
Неогеновые отложения	N ₂																			

Рисунок 36. Фрагмент карты инженерно-геологических условий М 1:200000, с условными обозначениями, объект «Южный Поток» (по Баборыкину М.Ю. и др., 2010) [38].

Карта отражает распространение на территории различных генетических типов и видов современных ОГП, определяя в то же время степень изученности и их проявления [38]. Условия возникновения и развития комплексов важнейших ОГП потенциально влияющих на эксплуатацию сооружений и способствующих к ухудшению экологической

обстановки в случае появления аварий (материал представлен на шестой конференции: Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. г. Москва 2010 г. Тема доклада: «Создание комплекта тематических карт с оценкой сейсмотектонических условий на объектах трубопроводного транспорта (на примере газопровода «Южный Поток»). Авторы: Овсяченко Н.И., Алешин А.С., Баборыкин М.Ю., Шварев С.В., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А.).

Также в выделенной зоне 2 проводились работы по трассе М-4 Дон в Липецкой области на оползневом участке (см. рисунок 37). Уникальность данной работы состояла в том, что автор методики дешифрирования и настоящей диссертационной работы выполнял работу без выезда на место проведения работ и при отсутствии материалов по инженерным изысканиям. Работы по дешифрированию и комплекс инженерных изысканий производились независимо друг от друга. В полевые исследования входили не только работы, регламентированные нормативными документами, но и георадарная съемка. Подтверждение 100 % сходимости со стороны службы изыскателей, проводивших исследования образовавшегося оползня, ещё раз доказывает состоятельность разработанной методики. После проведения работ выпущена статья в журнале «Автомобильные дороги» [21].

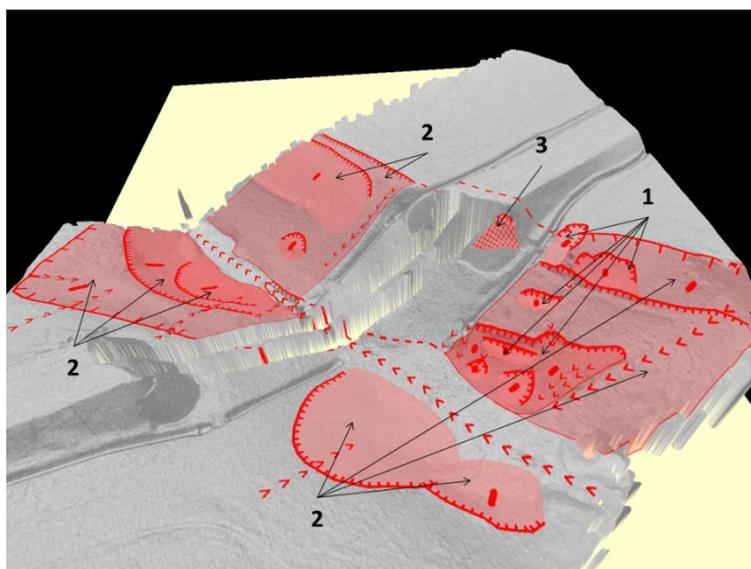


Рисунок 37. Фрагмент модели цифрового рельефа с выделением оползней на оползневом участке, автомобильная дорога М-4 Дон, Липецкая область, М 1:500 (по Баборыкину, М.Ю. и др. 2018) [21].

1 - активизация процесса; 2 - длительная стабилизация; 3 - образование оползня за счет техногенной нагрузки.

Оползень не достиг своего базиса. При попадании дождевых вод в сочленение бетонной отмостки и бетонных плит в совокупности с вибрацией, передаваемой от автотранспорта происходит смещение грунта.

В Зоне 3 (см. рисунок 22) выполнено дешифрирование на стадии проект параллельно с полевыми работами на объекте «Алтай», регион: III — преимущественно денудационно-тектоническое низкогорье и среднегорье с преобладанием скальных пород. Произведено выделение ОГП в пределах коридора ВЛС без привлечения дополнительных данных (карт материалов и космоснимков) (см. рисунок 38).

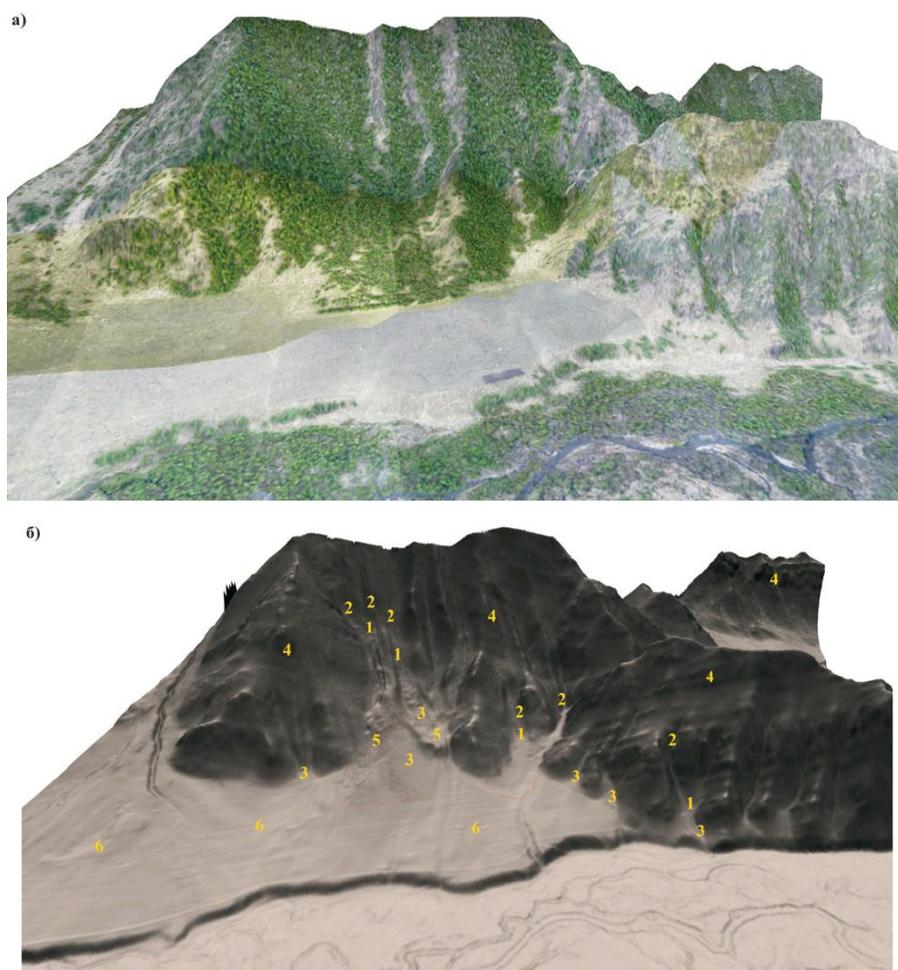


Рисунок 38. Фрагмент цифровой модели рельефа, М 1:500 (по автору, 2016) [55].

а) совмещенная с мозаикой ортофотоснимков; б) ЦМР для участка местности на объекте «Магистральный газопровод Алтай».

1 - осыпи; 2 - ложбины движения осыпей; 3 - коллювиальный шлейф; 4 - переслаивание коренных пород; 5 - крупнообломочные отложения; 6 - делювиально-коллювиальный шлейф.

В зоне 4 проведено дешифрирование опасных геологических процессов в коридоре трассы проектируемого трубопровода.

В зоне 5 (см. рисунок 22) проведено дешифрирование линеаментов неотектоники. Вся работа проводилась в рамках изучения неотектоники и ЭГП связанных с ними (см. рисунок 39), а также отображалась геологическая и экологическая обстановка, т.е. оконтуривание ОГП (см. рисунок 40) для принятия проектных решений при допроектной проработке для снижения рисков воздействия геологических процессов (получивших статус ОГП или имеющих опосредованное значение) на будущее сооружение при эксплуатации.

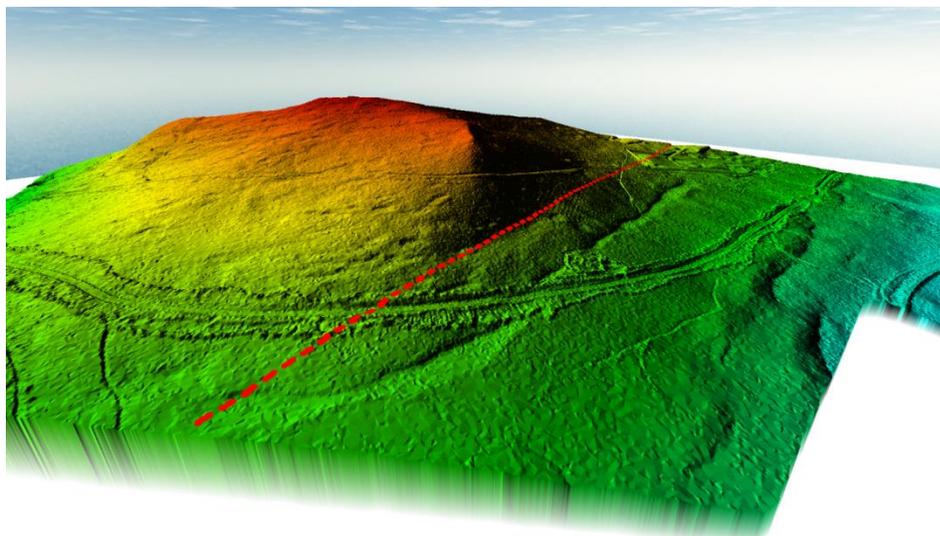


Рисунок 39. Фрагмент цифровой модели рельефа с выделенным линеаментом, М 1:1000 (по автору, 2019). Объект «Де-Кастри».

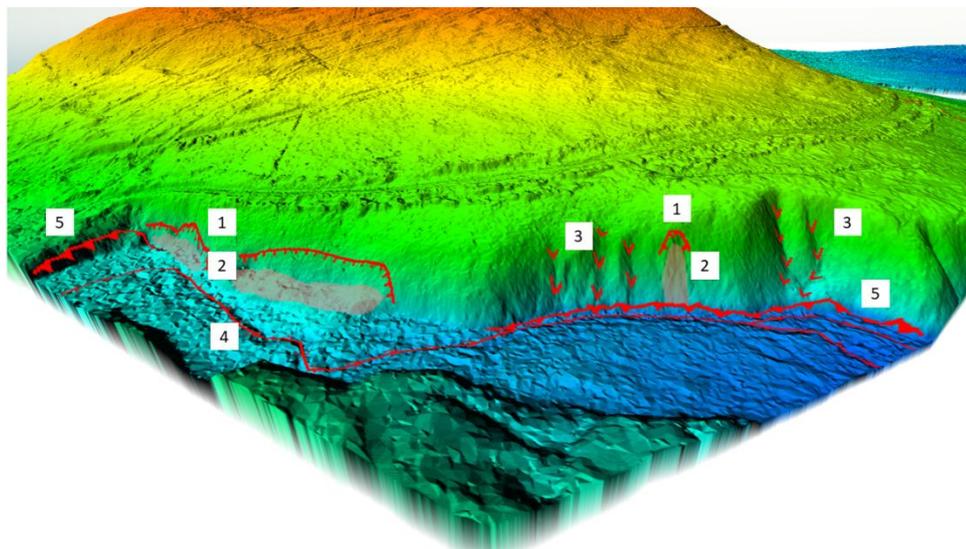


Рисунок 40. Фрагмент цифровой модели рельефа с результатами дешифрирования, М 1:1000 (по автору, 2019). Объект «Де-Кастри».

1 - бровка срыва; 2 - оползень; 3 - донная эрозия временного водотока (овражная); 4 - донная эрозия постоянного водотока; 5 - боковая эрозия постоянного водотока.

В зоне 6 (см. рисунок 22) проведено дешифрирование в регионе: II — денудационные платформенные равнины, плато и мелкосопочник (щиты) с преобладанием полускальных и скальных пород, в криолитозоне с льдистостью грунтов более 20% (см. рисунок 41).

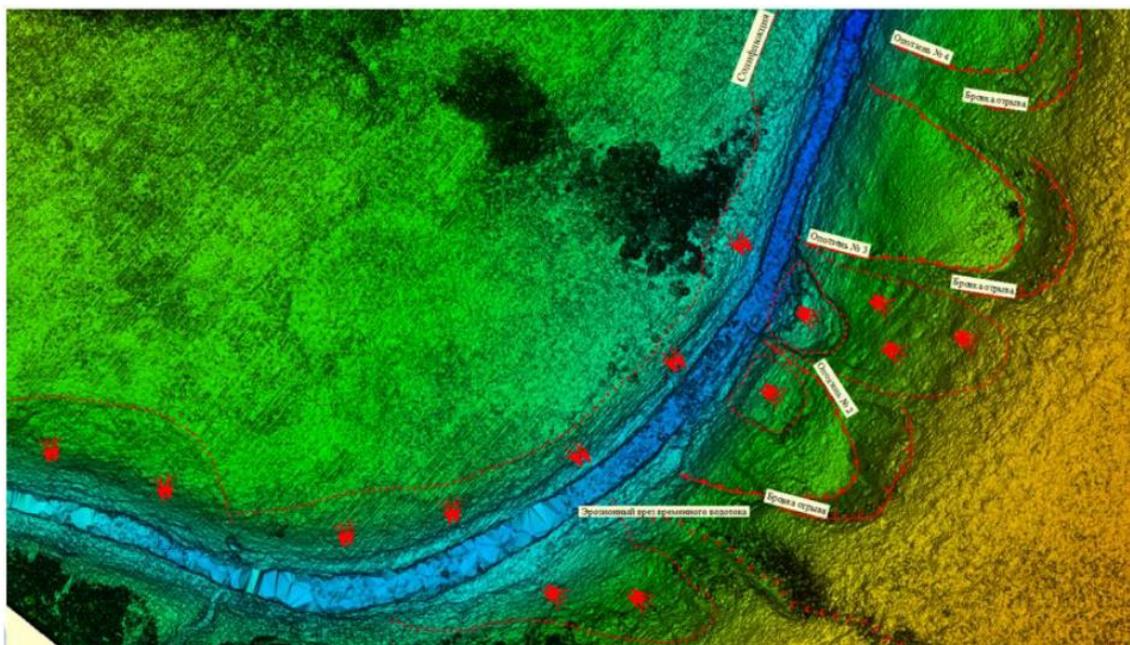


Рисунок 41. Фрагмент цифровой модели рельефа с результатами дешифрирования, М 1:500 (по автору, 2016) [55].

«Дешифрирование аэрофотоснимка, «подгруженного» к цифровой модели рельефа, не только детализировало геологические процессы, но и в некоторых случаях позволило качественнее выделить области протекания того или иного процесса» [16, с 51]. «К примеру, в случае, представленном на» рисунке 42, «зона солифлюкционных процессов оказалась больше по площади, чем при дешифрировании только цифровой модели» [16, с 51]. «В дальнейшем при проведении мониторинга опасных геологических процессов можно не только проследить тенденции изменений, но и объяснить их причины, выявить протекающие геологические процессы и занести информацию об этом в реестр геоинформационной системы» [16, с 51-52].



Рисунок 42. – Результаты дешифрирования аэрофотоснимка, «подгруженного» к цифровой модели рельефа (по автору, 2016) [55].

Как правило синтезированные модели показывают динамику но не отображают в полной мере процесс для качественной идентификации, при компилировании разных источников данных, к примеру гиперспектральной съемки дешифрируются малозаметные и не заметные для глаза оператора индикаторы [16] (см. рисунок 43).



Рисунок 43. Результаты обработки спектронального снимка, совмещенного с ЦМР. Размер пикселя ЦАФС 10 см. (по автору, 2013) [50].

3.7 Результаты выполненных исследований

Существующая потребность в лазерном сканировании для комплекса инженерно-геологических нужд требует выработки некой методики применения сканера, и соответствующих технических требований к получаемым материалам сканирования не только для топографии, но и для изучения экзогенных геологических процессов.

Распознавание объектов на цифровой модели местности 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 **φ** (полный угол сканирования **φ**), высота съемки (**H**). Выведены рекомендуемые скорости для ЛА и БПЛА для проведения сканирования местности при формировании топографического плана требуемого масштаба с последующим дешифрированием ОГП с определением качественных и количественных характеристик при хороших метеоусловиях (усреднённые данные скорости летательного аппарата, влияющие на качество выходного материала (см. таблицу 19).

Таблица 19. Расчёт скорости полёта км/час.

Размер ячейки dX (М)	Частота сканирования Гц						
	70	60	50	40	30	20	10
0,2	50,40	43,20	36,00	28,80	21,60	14,40	7,20
0,3	75,60	64,80	54,00	43,20	32,40	21,60	10,80
0,4	100,80	86,40	72,00	57,60	43,20	28,80	14,40
0,5	126,00	108,00	90,00	72,00	54,00	36,00	18,00
0,6	151,20	129,60	108,00	86,40	64,80	43,20	21,60
0,7	176,40	151,20	126,00	100,80	75,60	50,40	25,20
0,8	201,60	172,80	144,00	115,20	86,40	57,60	28,80
0,9	226,80	194,40	162,00	129,60	97,20	64,80	32,40

Белым цветом выделены ячейки для летательных аппаратов, имеющих возможность лететь с низкой скоростью (БПЛА типа дрон). Жёлтым цветом - вертолёты. Зелёным – самолёты типа Ан – 2. Красным — иные летательные аппараты, попадающие в данный скоростной диапазон.

Исходя из усреднённых данных, полученных при расчётах, выявлена взаимосвязь достаточного количества отражений на метр квадратный (поверхностная плотность) от истинной поверхности земли для надежного выделения морфометрических форм, отражающих ОГП. Разработаны критерии декодирования и интерпретации ОГП, при разных высотах сканирования, зависящих от количества ТЛО на м. кв. от истинной поверхности земли (см. таблицу 20).

Таблица 20. Дешифрируемые ОГП на ЦМР подготовленных для формирования разных масштабов топографических планов (по автору, 2016) [55].

№ п/п	Масштаб	Регистрируемые процессы и явления
1	М 1:500 , разрешение фотоснимков на местности от 5-7 см в пикселе плотность точек земли – от 5-9 точек на м. кв. высокая детализация съёмки, чётко фиксируются границы физико-геологических процессов и явлений (имеющих статус ОГП), проявленных в рельефе.	<i>Оползни, обвалы и осыпи, сели, карст, карстово-суффозионные процессы, лавины снежные, переработка берегов морей, озёр, водохранилищ, суффозия, морозное пучение, термокарст и т.д.</i>
2	М 1:1000 , разрешение фотоснимков на местности от 7-10 см в пикселе плотность точек земли – от 3-5 точек на м. кв. с худшей детализацией.	<i>Оползни, обвалы и осыпи, сели, карст, карстово-суффозионные процессы, лавины снежные, переработка берегов морей, озёр, водохранилищ, суффозия, морозное пучение, термокарст и т.д.</i>
3	М 1:2000 , разрешение фотоснимков на местности от 10-15 см в пикселе плотность точек земли – от 2-3 точки на м. кв. плохая детализация.	<i>Оползни, обвалы и осыпи, сели, лавины снежные, карст, термокарст, переработка берегов морей, озёр, водохранилищ и т.д.</i>
4	М 1:5000 , разрешение фотоснимков на местности от 15- 20 см в пикселе, плотность точек лазерных отражений классификации «Земля» – от 0.5 - 1 точку на м. кв.	<i>Выделение границ крупных тел оползней, крупных осей и обвалов, селевых бассейнов, курумов имеющих большую площадь, проявление термокарста имеющую большую площадь, проявление карста имеющую большую площадь и т.д.</i>

Использование сканера в благоприятных условиях позволяет получить необходимую точность и не только провести дешифрирование опасных геологических процессов и явлений, но и дать предварительную описательную информацию.

Немаловажным является угол обзора при сканировании, эмпирическим путём выявлено, что приемлемая плотность точек достигается при угле сканирования не превышающем 30° от надира. Схема сканирования для получения высокой детализации

должна выглядеть следующим образом: перекрытие полос сканирования в процентном соотношении приблизительно 30%.

Как видно из рисунка 44 краевые зоны облаков точек, за счёт угла наклона луча к сканируемой поверхности становятся более разреженными по сравнению с центральной частью, но не критическими. Проблемой становится отображение грунта в залесенной и горной местности, так как лучи, направленные под углом по отношению к поверхности земли, отражаются от естественных препятствий, не достигая поверхности земли (см. рисунок 44). Следовательно, при проведении высококачественной съёмки необходимо уменьшать расстояние между треками залёта для исключения из обработки краевых зон съёмки низкого качества (см. рисунок 45).

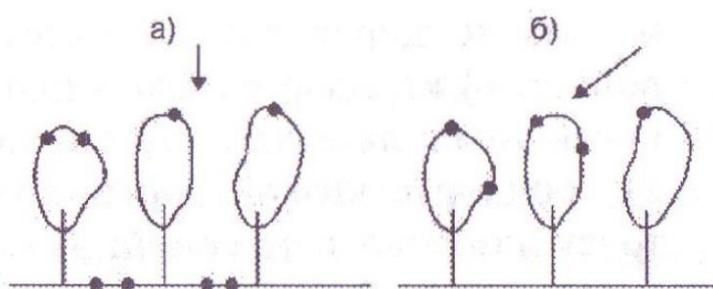


Рисунок 44. Характер распределения лазерных отражений от кроны деревьев и поверхности земли. а) вертикальный луч; б) наклонный луч (по Медведеву, 2007) [103].



Рисунок 45. Облако точек высокого разрешения, М 1:500. Краевые зоны имеют более низкую плотность, чем центральная часть (по Баборыкину М.Ю. и др., 2015) [22].

1 - коридор высокой плотности точек лазерных отражений; 2 - коридор с низкой плотностью точек лазерных отражений.

На рисунке 46 графически представлены фактическая и рабочая полосы съёмки: рабочая полоса с высокой плотностью зондирования и фактическая полоса с менее высокой плотностью на краях.

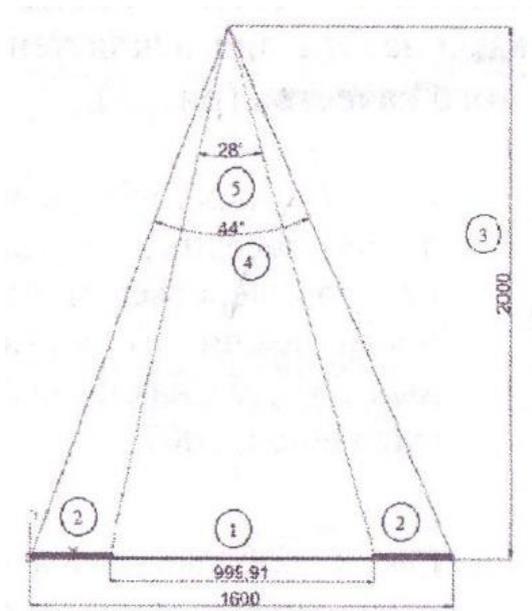


Рисунок 46. Схема, зависимости плотности точек лазерных отражений и угла зондирования от высоты полёта (по Баборькину М.Ю. и др., 2015) [22].

1 - коридор высокой плотности точек лазерных отражений; 2 - коридор с низкой плотностью точек лазерных отражений; 3 - высота с которой производится сканирование; 4 - фактический угол зондирования; 5 - рабочий угол зондирования.

Таким образом, метод дешифрирования опасных геологических процессов по материалам ВЛС в совокупности с ЦАФС является одним из дополнительных источников информации об инженерно-геологической обстановке. Произведённые теоретические расчёты высоты залёта воздушного судна и оптимальной скорости, при соответствующих настройках аппаратуры показали возможность качественного и количественного определения границ ОГП. Следует отметить также, что полученная ЦММ при интерпретации наглядно отображает мелкие детали рельефа (микрорельеф). Следовательно, возможность описания ОГП согласно требованиям нормативных документов, позволяет специалистам оценивать инженерно-геологическую обстановку на высоком уровне, до проведения полевых работ.

Выполненные исследования позволили выработать критерии для качественного дешифрирования, которые в свою очередь позволяют провести декодирование и интерпретацию данных лазерного сканирования.

Результаты выполненных исследований хорошо отображают механизм проведения изучения района, изложенный в представленном примере п.п 3.3.2 на рисунках 17-19 и таблице 18 (объект: «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края «газификация Тамани»).

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОПОЛЗНЕВОМ УЧАСТКЕ

При проведении полевых работ проводились буровые работы, полевые испытания грунтов на сдвиг, на срез, комплекс геофизических работ (электроразведка, сейсморазведка), гидрогеологические испытания, лабораторные испытания грунтов и д.р.

По итогам полевых, лабораторных и камеральных работ составлен отчет по инженерно-геологическим изысканиям.

Для демонстрации сопоставления данных дешифрирования и диагностики определения глубины зеркала скольжения, и полевых работ представлена схема фактического материала из отчета по инженерно-геологическим изысканиям (см. рисунок 47).

Схема фактического материала отображает основные информативные элементы, производится сопоставление количественных характеристик оползней (периметр, поперечник, площадь и предполагаемое зеркало скольжения). Отстраиваются профили по цифровой модели рельефа по имеющимся линиям разреза, отстраиваются зеркала скольжения для сравнения с полевыми данными. Оценка глубины предположительного зеркала скольжения производилось по другим профилям.

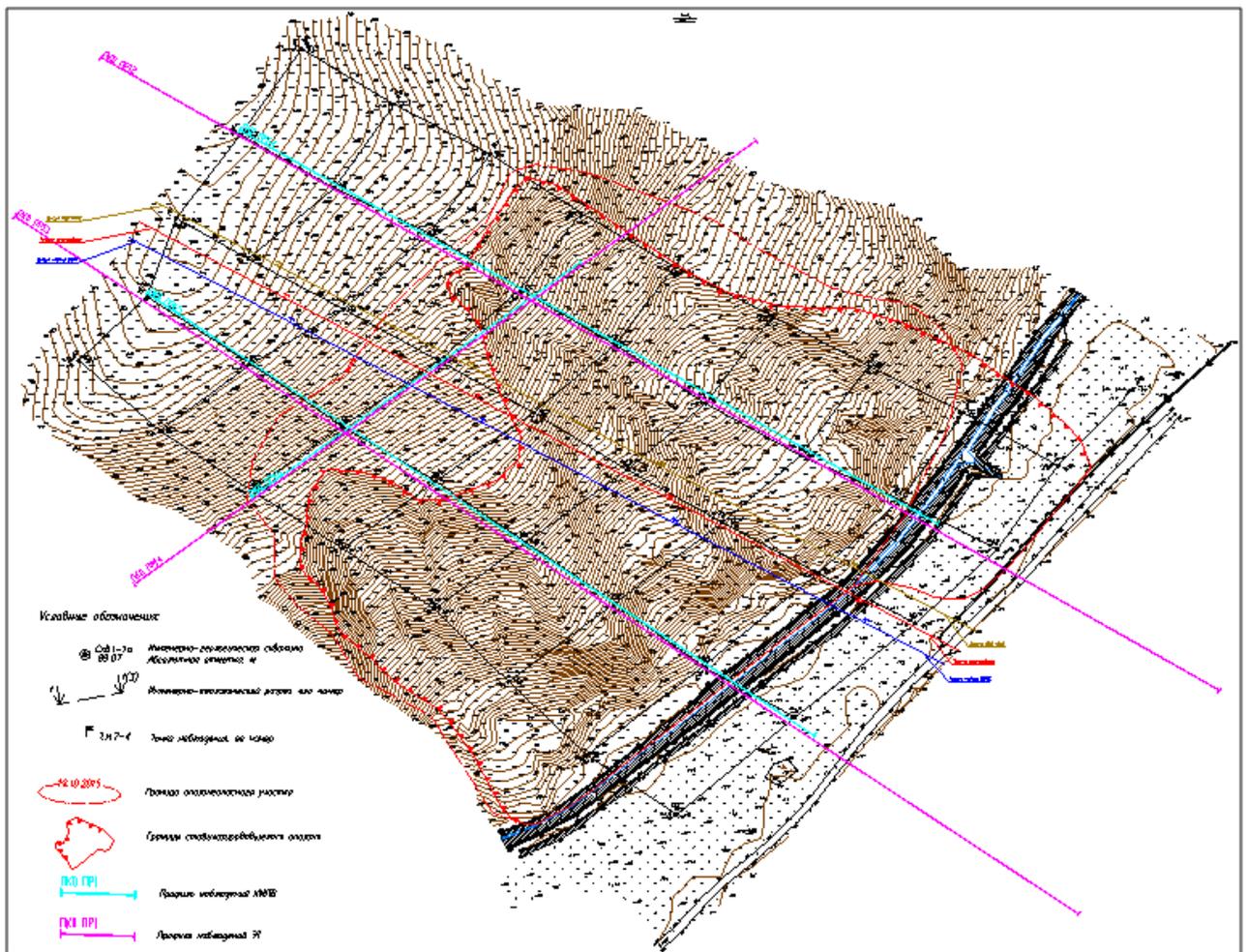


Рисунок 47. Схема фактического материала. Масштаб схемы фактического материала 1:500 (по автору, 2019).

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ ДЕШИФРИРОВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ЗЕРКАЛА СКОЛЬЖЕНИЯ И ПОЛЕВЫХ РАБОТ

При исследовании оползня качественные и количественные характеристики необходимы для получения исчерпывающей информации о нём. Отображения формы, признаки активности, подвид оползня является качественными характеристиками. Количественные – метрические характеристики оползня, общий уклон тела оползня. При проведении камерального трассирования во время выбора конкурентных направлений, прогнозный объем изучаемого геологического тела даст дополнительную, не менее важную информацию. Проведение вычислений объема геометрической объемной фигуры неопределенной формы основывается на представлении всех поверхностей. Учитывая тот момент, что при дешифрировании на цифровой модели рельефа видна только одна условная плоскость криволинейной объемной фигуры, остальные составляющие фигуры определяются косвенно по внешним факторам.

Факторы прогнозного определения зеркала скольжения являются: подвид оползня, угол наклона бровки срыва, текстура тела оползня, форма конечной подошвенной части.

Проведение плоскостей «вход - выход» на разрезе позволяют провести предполагаемую границу тела оползня – объемной геометрической фигуры неопределенной формы (см. рисунок 48).

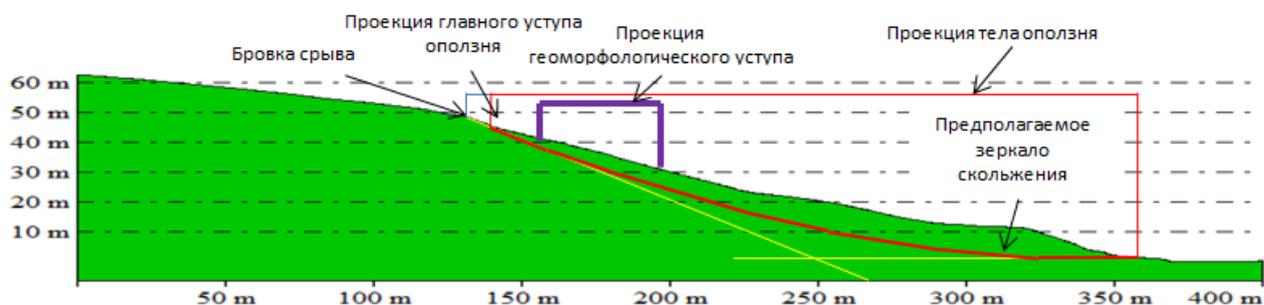


Рисунок 48. Профиль по линии 4-4 (по автору, 2019).

Проведение профилей для прогнозного определения объема тела оползня шаг построения профилей зависит от формы тела прослеживаемой на поверхности.

При проведении расчетов следует понимать, что метод базируется исключительно на косвенных характеристиках и является оценочным.

На рисунках 49-51 произведено сопоставление прогнозного зеркала (метод прогнозного определения глубины зеркала скольжения) с бурением (полевыми исследованиями) в точке, совмещенного с косвенными методами определения положения границы между ними.

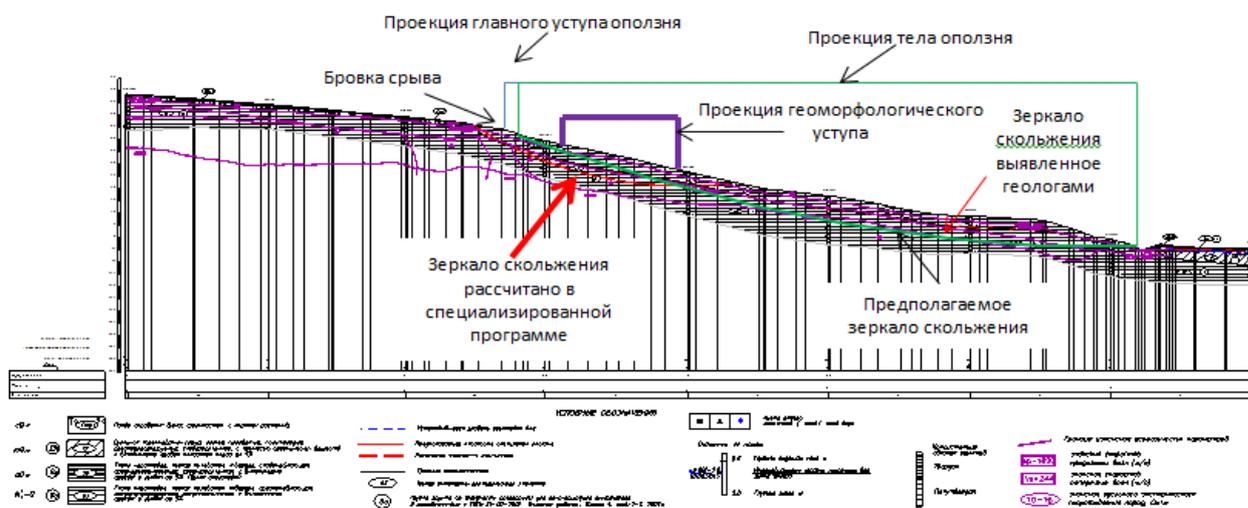


Рисунок 49. Геологический разрез по линии 4-4 (по автору, 2019).



Рисунок 50. Разрез электротомографии сопряжённый с линией разреза 4-4 (по автору, 2019).

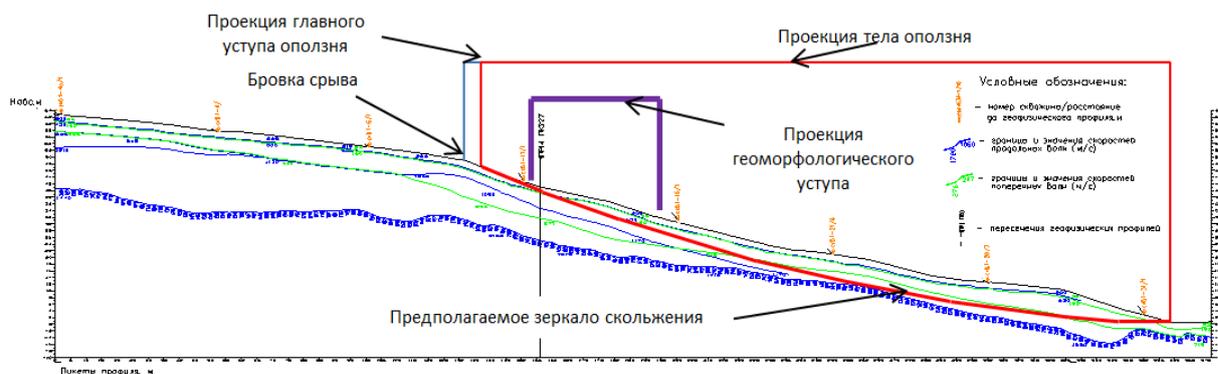


Рисунок 51. Разрез КМПВ сопряжённый с линией разреза 4-4 (по автору, 2019).

3.8 Выводы

Разработанные методологические принципы дешифрирования ОГП по материалам ВЛС в совокупности с ЦАФС являются одним из дополнительных источников информации о геологической и экологической обстановке, т.е. распространении ОГП с возможностью оценки их возможного воздействия на техническое сооружение в ПТС. Полученная ЦМР при декодировании и интерпретации ОГП наглядно отображает мелкие детали (микрорельеф), следовательно, возможность описания ОГП, согласно требованиям нормативных документов, позволяет специалистам оценивать обстановку на высоком уровне до проведения полевых работ для минимизации рисков возникновения аварий на проектируемых сооружениях при эксплуатации, которые ухудшают экологическую обстановку. Немаловажен тот факт, что получаемая ЦММ может использоваться при изучении динамики рельефа, следовательно, данная модель подходит для построения временных рядов, использующих разномасштабную информацию во время проведения анализа взаимосвязей распространения ОГП, окружающей среды и техногенного воздействия на неё.

Разработанные методологические принципы (Патент № 2655955. Способ дешифрирования ЭГП и инженерно-геологических условий) [57] состоящие из методик

дешифрирования, определения качественных и количественных характеристик ОГП могут и должны быть включены в нормативную документацию как один из аэрометодов применяемых при изучении геологической и экологической сред, а также ПТС в целом для решения инженерно-геологических задач. Разработанные методологические подходы позволяют производить обучение будущих специалистов дешифровщиков, эффективно декодировать ОГП, интерпретировать их (проводить идентификацию и присваивать им статус ОГП на стадии интерпретации если они таковыми являются), получать качественные и количественные характеристики (на стадии интерпретации), а также проводить виртуальное обследование территории.

Опыт применения методики во время её формирования и совершенствования показал, что применение комплексного использования материалов ВЛС с ЦАФС обладает рядом преимуществ:

- 1) сокращает временные затраты на поиск ОГП (получившего статус опасный на стадии интерпретации);
- 2) позволяет выбрать наиболее подходящие конкурентоспособные варианты, тем самым снизить количество перетрассировок для линейных сооружений, связанных с обходом того или иного ОГП (получившего статус опасный на стадии интерпретации), или перемещения площадного объекта, уменьшая тем самым экономические затраты;
- 3) позволяет оптимизировать расстановку горных выработок, и как следствие качественнее выполнить инженерные изыскания;
- 4) позволяет создать банк данных для возможного обоснования проведения мониторинга, создание ретроспективной (до строительства) и статической (сразу после строительства ввода в эксплуатацию), и динамической модели (при периодическом повторении сканирования во время эксплуатации);
- 5) повышается безопасность эксплуатации будущего сооружения, тем самым снижая влияния геологических факторов на экологический риск, последствий воздействия геологических процессов на экосистемы при снижении опасности аварийных ситуаций.

Исходя из проведённого анализа и выполнения экспертного дешифрирования, данная методика выделения ОГП позволяет надёжно определять границы распространения «геологических процессов» и получать метрические характеристики. Следовательно, данная информация в дальнейшем используется не только для качественного и количественного выявления ОГП, но и для качественного проведения инженерных изысканий (расстановка горных выработок, заложения точек наблюдения, заложение точек опытных работ и т.п.).

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ВЛС (LIDAR)

4.1 Теоретические основы проведения мониторинга

Проведение мониторинга возможно, если соблюдено (Патент № 2655956) [57]: высокая плотность ТЛО (не менее 50 точек на м. кв.), камера для ЦАФС с высоким разрешением (не менее 100 мегапикселей), приблизительно схожие погодные условия и схожие состояний временного фактора территории (отсутствие снежного покрова) при повторном сканировании. На данном этапе развития оборудования условие схожего времени года, наличии листвы и т.д. отходит на второй план, ввиду того, что плотность массива ТЛО достигается до 600 на 1 м. кв.

Началом работ мониторинга (полевой его части, не учитывая подготовительные работы) служит декодирование ОГП и их интерпретация. Соответственно, для выявления (декодирования) ОГП необходимо использовать подход детализации «от большего к меньшему» [17] (см. рисунок 52).

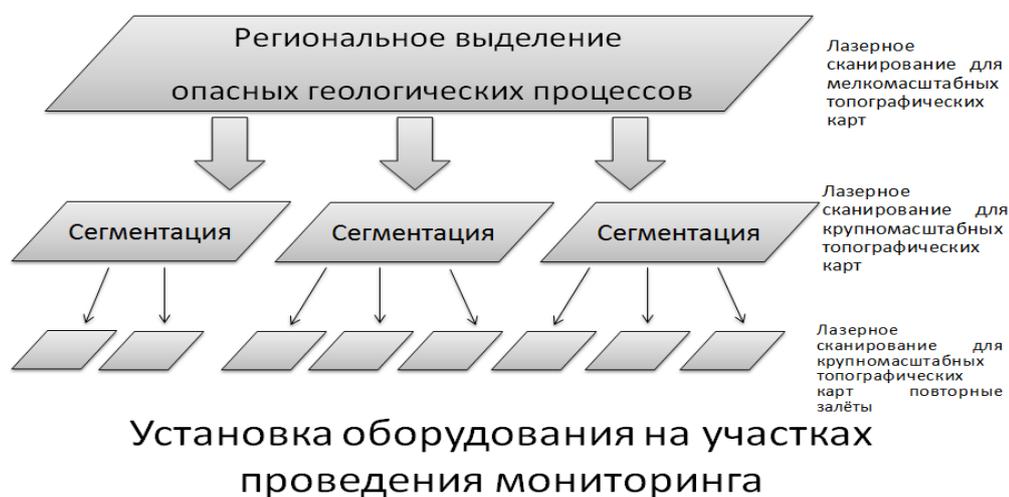


Рисунок 52. Общая концепция подхода детализации выделения опасных геологических процессов (по автору, 2016) [55].

Условное разделение на три уровня позволяет унифицировать подход декодирования и интерпретации геоморфологического образа того или иного ОГП (получившего статус опасный при интерпретации).

На верхнем уровне целесообразность выделения контуров ОГП (получившего статус опасный при интерпретации) позволяет оценить инженерно-геологическую обстановку со стороны возможных затрат на защиту сооружений от воздействия «процессов» и, как следствие, снижение рисков возникновения экологических катастроф.

Следует отметить, что при отсутствии надобности составления тематических инженерно-геологических карт, на верхнем уровне производится дешифрирование синтезированной 3D модели.

Для проведения мониторинга важны параметры X_p, Y_p, Z_p , показатель I является второстепенным и может использоваться как дополнительный показатель при учете идентичности условий (погода, положение солнца, наличие или отсутствие листвы) повторных сканирований местности.

«Формальное описание лазерных данных с дополненным набором численных параметров выглядит следующим образом X_p, Y_p, Z_p, I , характеризующих каждую ТЛО значением t – время регистрации какой либо конкретной лазерной точки. Следовательно, необходимо описать набор лазерных данных» [35, с 82]:

$$L = \{X_{pi}, Y_{pi}, Z_{pi}, I_i, t_i\} \quad i=1...N \quad (2)$$

«Где,

L – означает весь рассматриваемый набор лазерно-локационных данных,

N – общее количество лазерных точек в наборе L ,

i – количество точек лазерных отражений в статической модели.

Отсюда формальный набор данных для мониторинга M следующий» [35, с 82]:

$$M = \{L, L + \Delta T\} \quad j=1...K \quad (3)$$

« K – Общее количество режимных наблюдений в процессе мониторинга,

T – модель во временном ряду,

j – количество точек лазерных отражений в динамической модели» [35, с 82].

Учитывая, что программные продукты работают с бинарными кодами, то выше описанный формально набор ТЛО будет выглядеть, как матрица рельефа, имеющая бинарную разметку [35]:

$$\overline{\text{Grid}} = \begin{bmatrix} \bar{H}_{0,0} & \dots & \bar{H}_{0,j} & \dots & \bar{H}_{0,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{H}_{i,0} & \dots & \bar{H}_{i,j} & \dots & \bar{H}_{i,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{H}_{Nx,0} & \dots & \bar{H}_{Nx,j} & \dots & \bar{H}_{Nx,Ny} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Где, \bar{H}_{ij} – матрица, математически описывающая сетчатую модель рельефа (статическую модель) с указанием высот в узлах (на пересечении i -ой и j -ой линий).

Отсюда общее описание получения значения динамической модели с бинарными отметками будет иметь вид [35]:

$$\overline{\text{Grid}}_n - \overline{\text{Grid}}_0 = \Delta \overline{\text{Grid}} \quad (5)$$

Где, n – последующий скан во временном ряду, 0 – нулевой скан, принятый за точку отсчёта [35].

Или:

$$\begin{bmatrix} n\bar{H}_{o,o} & \dots & n\bar{H}_{o,j} & \dots & n\bar{H}_{o,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n\bar{H}_{i,o} & \dots & n\bar{H}_{i,j} & \dots & n\bar{H}_{i,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n\bar{H}_{Nx,o} & \dots & n\bar{H}_{Nx,j} & \dots & n\bar{H}_{Nx,Ny} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0\bar{H}_{o,o} & \dots & 0\bar{H}_{o,j} & \dots & 0\bar{H}_{o,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0\bar{H}_{i,o} & \dots & 0\bar{H}_{i,j} & \dots & 0\bar{H}_{i,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0\bar{H}_{Nx,o} & \dots & 0\bar{H}_{Nx,j} & \dots & 0\bar{H}_{Nx,Ny} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\bar{H}_{o,o} & \dots & \Delta\bar{H}_{o,j} & \dots & \Delta\bar{H}_{o,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta\bar{H}_{i,o} & \dots & \Delta\bar{H}_{i,j} & \dots & \Delta\bar{H}_{i,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta\bar{H}_{Nx,o} & \dots & \Delta\bar{H}_{Nx,j} & \dots & \Delta\bar{H}_{Nx,Ny} \end{bmatrix} \quad (6)$$

При исследованиях автора неоднократно было замечено, что показатель интенсивности I устойчиво отображает кромку воды даже находящуюся под растительностью. Также неоднократно было замечено, что происходит поглощение энергии лазерного луча выходящих на поверхность замоченных грунтов (или перекрытых почвой мощностью не более 30 см – для сканера Leica ALS70-СМ).

Автор настоящей диссертационной работы предлагает также применять новинки в сканирующих системах, например мультиспектральный сканер (имеющих три лазера с частотами 532, 1064, 1550 nm). При применении данного сканера определения выше указанных параметров становится более существенным [109].

Автором также выявлено, что показатель I (Интенсивность) является неустойчивым. На данный момент автором настоящей диссертации производятся испытания с набором статистики удачных и неудачных попыток применения по применению данного показателя для решения некоторых инженерно-геологических задач. На данный момент применимость интенсивности являются сугубо экспертным, получаемы результат по применению в дешифрировании, полностью зависит от опыта интерпретатора. Однако автор настоящей диссертации представляет матрицу для возможного применения в автоматизированном дешифрировании. Матрица выглядит следующим образом:

$$I_GRID = \begin{bmatrix} I\equiv\bar{H}_{o,o} & \dots & I\equiv\bar{H}_{o,j} & \dots & I\equiv\bar{H}_{o,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I\equiv\bar{H}_{i,o} & \dots & I\equiv\bar{H}_{i,j} & \dots & I\equiv\bar{H}_{i,Ny} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I\equiv\bar{H}_{Nx,o} & \dots & I\equiv\bar{H}_{Nx,j} & \dots & I\equiv\bar{H}_{Nx,Ny} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Следовательно, получение значений изменений в рельефе с учетом интенсивности при вычете разновременных моделей матриц с бинарными отметками будет иметь вид:

$$I_GRID_n - I_GRID_o = \Delta I_GRID \quad (8)$$

Некоторые программные продукты, призванные работать с массивом ТЛО имеют функцию окрашивать показателя I (Интенсивность) либо в градиент серого (монохром) либо в псевдоцвета (в настраиваемых палитрах), это позволяет проводить, экспертно, анализ.

Однако как указано выше на данный момент на показатель оказывает серьезное влияние погодные условия и освещенность.

4.2 Принципиальная схема мониторинга

Мониторинг ОГП, условно, начинается с декодирования, переходящего в интерпретацию и формирования выборки опасных процессов для сооружений.

Разработанная автором настоящей диссертационной работы схема, представленная на рисунке 53 отображает начало мониторинга в её вершине и по мере движения к основанию увеличиваются познания об исследуемом районе в целом [14 – 19, 35, 87, 102, 119, 120, 129, 169, 179].

Косвенное начало проведения мониторинга ОГП – это обнаружение (или декодирование) и идентификация (или интерпретация), с определением их активности, а также опасности для проектируемого сооружения [2, 19, 76].

При формировании ЦМР/ЦММ требуемой плотности массива лазерных отражений отстраивается статическая инженерно-геоморфологическая модель. Полученная статическая инженерно-геоморфологическая модель является нулевой точкой мониторинга ОГП (имеющих статус «опасный» на стадии интерпретации).



Рисунок 53. Принципиальная схема мониторинга на основе ВЛС совмещённого с аэрофотосъёмкой. Верхняя точка пирамиды является началом познания изучаемого объекта.

Постепенно увеличивая свои познания об объекте, происходит увеличения основания пирамиды (по Баборыкину М.Ю. и др., 2017) [76].

Выстраивание во временной ряд статических инженерно-геоморфологических моделей позволяет получить динамические модели, фиксирующие изменения в рельефе (см. рисунок 54).

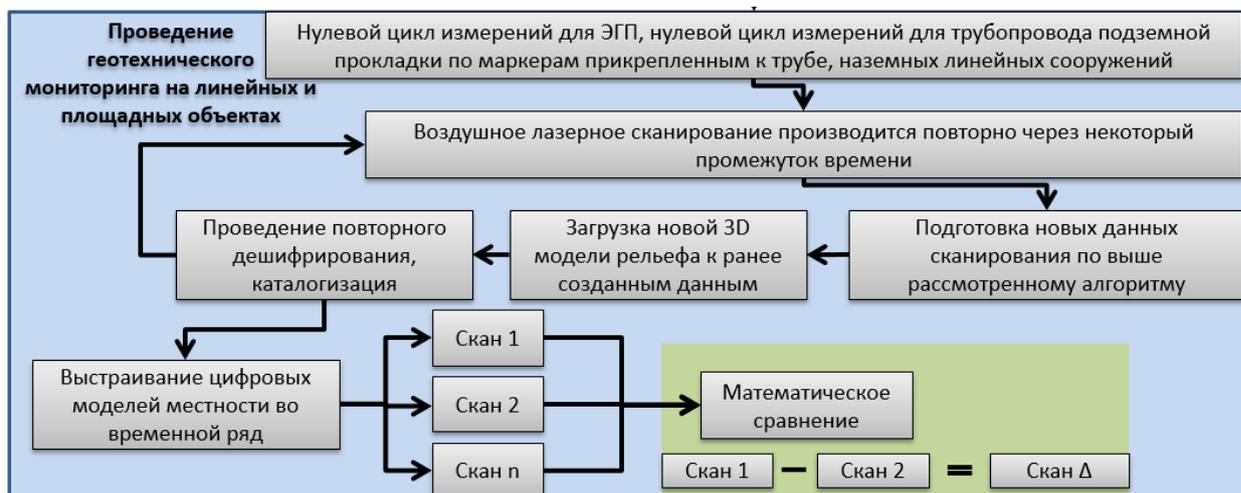


Рисунок 54. Алгоритм проведения мониторинга (по автору, 2017) [57].

Проведение мониторинга на основе ВЛС включает [57]:

- 1) Проведение ВЛС совмещенного с ЦАФС местности.
- 2) Проведение декодирования ОГП и их интерпретация – т.е. дешифрирования ЭГП и инженерно-геологических условий.
- 3) Проведение режимных наблюдений за выявленными ОГП и выявление появления новых геологических процессов.

ВЛС производится с борта ЛА или БПЛА и сформировано из следующих этапов [57]:

- 1) Расстановка опознавательных знаков. Создание опорной геодезической сети для привязки сканов, проектирование треков полета ЛА или БПЛА (для многократного сканирования во времени);
- 2) Проведение ВЛС совмещенной с ЦАФС по выбранным трекам полетов (далее используются выбранные треки);
- 3) Запись данных на цифровые носители;
- 4) Камеральная обработка. Формирование ЦМР.

Разработанная автором настоящей диссертационной работы структура мониторинга на основе ВЛС может входить в подсистемы регионального, локального и детального уровней [35]. Нежимные наблюдения ПТС и анализ развития различных ОГП, которые могут негативно воздействовать на техническую систему и, как следствие, приводить к авариям, т.е. ухудшать экологическую обстановку [16, 35, 57, 76, 86, 89, 97].

4.3 Исследование качества сканирования и выработка технических требований для мониторинга

Воздушное сканирование выполняется с малых высот для получения высокой плотности массива ТЛО и ЦАФС (см. таблицу 21).

Таблица 21. плотность массива ТЛО минимальной погрешности (4 см) для мониторинга объектов разного размера

№ п/п	Плотность массива ТЛО от истинной поверхности земли	Размер пикселя ЦАФС	Размер объекта мониторинга
1	40	2 см. кв.	5 см
2	20	4-5 см. кв.	10 см
3	13	6-7 см. кв.	15 см
4	10	10 см. кв.	20 см
5	8	10-12 см. кв.	25 см
6	7	15 см. кв.	30 см

При проведении эксперимента сканирования оборудованием Leica ALS70-СМ для мониторинга выявлены оптимальные параметры, для ЛА, на равнине, холмистой местности и низкогорной местности: высота полета 600-800 метров над поверхностью изучаемого участка, скорость полета 110-130 км/ч., количество ТЛО 30 на 1 м. кв. (в максимально полезном диапазоне 15 град от надира) погрешность определения ТЛО в пространстве 5 см. В горной местности высота полета подбирается с учетом перепада высот от самой низкой точки до самой высокой точки, треки полета проектируются на безопасных высотах, скорость полета 110-130 км/ч, погрешность определения ТЛО в пространстве 10 см.

Проведенные эксперименты многоцелевым сканером, разработанным для мобильного и воздушного сканирования (БПЛА) АГМ-3, выявили оптимальные характеристики: высота сканирования 150 м над поверхностью изучаемого участка, скорость полета 100 км/час 150 высота 112 (в максимально полезном диапазоне 30 град от надира) точек на 1 м. кв.

После обоснования площадей проведения мониторинга, выбираются наиболее эффективные, с точки зрения качества сканирования: маршруты залётов, производится закладка станций GPS (GPS base station) и опознавательных знаков (3D Ground Control Point). Установка контрольных точек (опознавательных знаков) производится в каждом углу полосы сканирования с расчётом возможных наложений последующих полос сканирования (см. рисунок 55) [167].

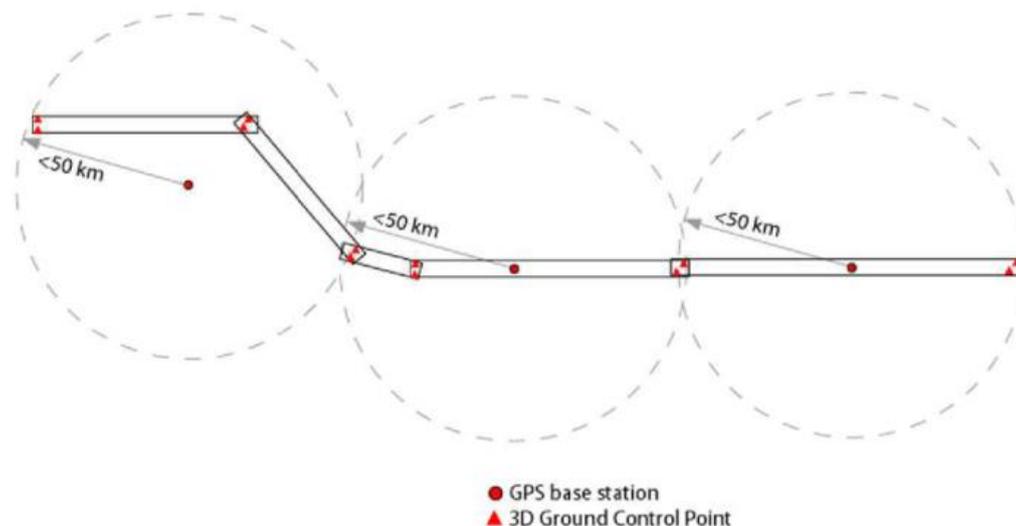


Рисунок 55. Пример коридора съёмки предлагаемый разработчиками воздушных лазерных сканеров (по автору, 2019).

Методика проведения сканирования, предлагаемая разработчиками оборудования, подходит для решения топографических задач. Для решения задач мониторинга необходим другой подход. Радиус от постоянно действующей станции GPS/ГНСС не должен превышать 10 км., так как среднеквадратическая погрешность сканирования прямо пропорционально зависит от удаленности от базовой станции. Оптимальное расстояние между базовыми станциями высчитано эмпирически и подтверждено экспериментами автора, совместно с компанией ООО «АГМ Системы» г. Краснодар и описывается формулой.

$$\delta + 1 \text{ мм} * L_p \quad (9)$$

Где,

δ – погрешность измерения GPS/ГНСС;

L_p – расстояние от базовой станции (км).

Опознавательные знаки (3D Ground Control Point) устанавливаются в местах поворота коридора сканирования. Опознавательные знаки для трансформации в разные системы координат расставляются стационарно через 2,5 км квадратного сечения 1 м. кв. (см. рисунок 56).

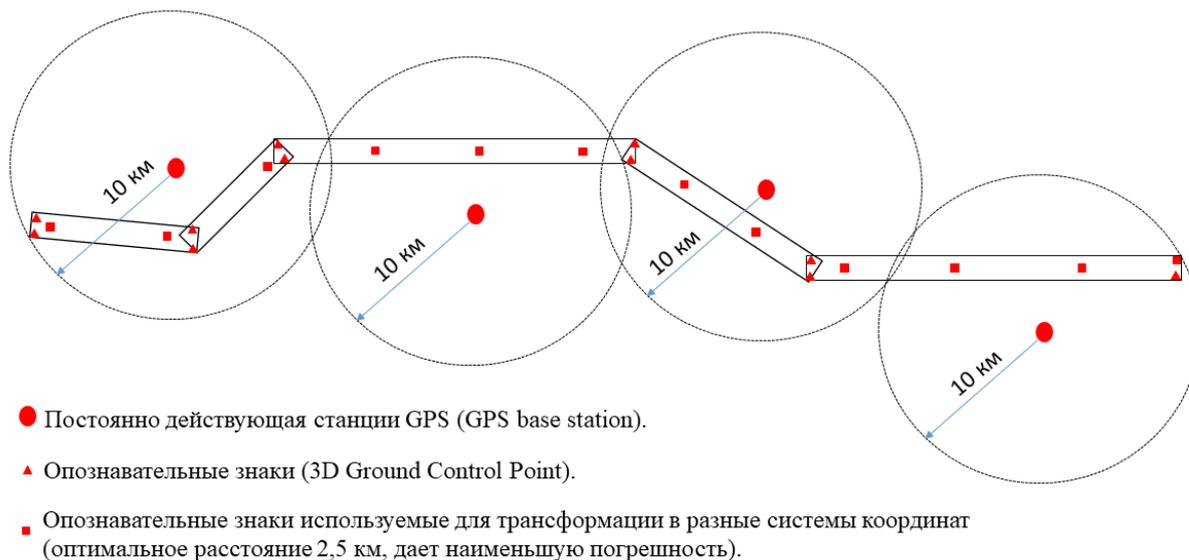


Рисунок 56. Пример организации сети для мониторинга предлагаемый автором настоящей диссертационной работы (по автору, 2019).

Применительно к участку проведения мониторинга расстановка опознавательных знаков (3D Ground Control Point) и станций GPS (GPS base station) осуществляется с учётом местности (не должны попадать в зону влияния опасных геологических процессов) и с учётом пересечений полос сканирования (см. рисунок 57). Учитывая, что сканирующая система определяет координаты ТЛЮ в системе координат WGS – 84, необходимости в опознавательных знаках, используемых для трансформирования в другие системы координат, нет. Однако, если необходимость хранения после декодирования и интерпретирования ОГП существует в других системах координат, то производится закладка выше указанных опознавательных знаков (см. рисунок 56), либо мониторинг производится в координатной системе в которой работает сканирующая система, либо хранение статических моделей производится в исходных координатах и в трансформированных.

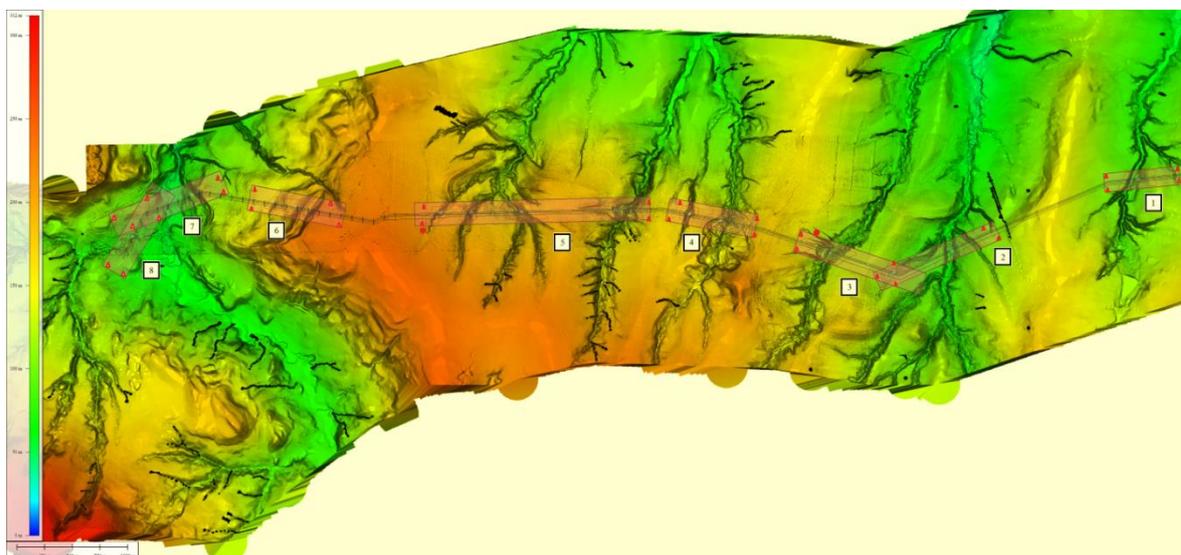


Рисунок 57. Цифровая модель рельефа с границами проведения воздушного лазерного сканирования по трассе проектируемого трубопровода (по автору, 2019).

Цифрами обозначены необходимые участки сканирования;

● станции GPS (GPS base station); ▲ опознавательные знаки (3D Ground Control Point).

Учитывая, что распределение массива ТЛО от истинной поверхности «земли» не равномерно, т.е. не имеет регулярной сети (см. рисунок 58), а также возможности сканирующей системы определять ТЛО с определенной погрешностью (минимально возможной), подходящей для мониторинга (см. рисунок 59) необходимо подбирать оборудование исходя их возможности плотности общего массива ТЛО и общей погрешности определения координат ТЛО в пространстве.

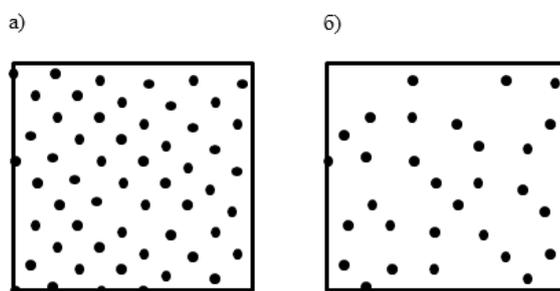


Рисунок 58. Распределение ТЛО в плане на сканируемой поверхности (по Баборыкину М.Ю. Бурцеву А.А. ,2019) [39].

а) не классифицированный массив ТЛО; б) классифицированный массив ТЛО, класс «земля».

Формирование сканирующих систем массива ТЛО с определенной погрешностью является одним из важных показателей влияющих на определение границ погрешности, т.е.

возможности определения изменений с определенной достоверностью, для определения скоростей и ускорений изменений, необходимых как для прогнозных заключений развития ОГП, так и для расчетов предельно-деформированных состояний как массива грунтовых оснований, так и сооружений (см. рисунок 61).

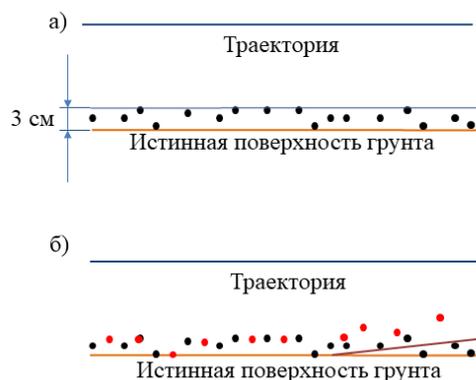


Рисунок 59. Распределение ТЛО в профиле на сканируемой поверхности, определение отклонений во временном ряду (по Баборыкину М.Ю. Бурцеву А.А., 2019) [39].

а) массив ТЛО проведенного сканирования; б) массив ТЛО совмещенного предыдущего скана (ТЛО черного цвета) и вновь проведенного сканирования (ТЛО красного цвета), с выявлением изменений в рельефе.

Беря во внимание, что существует несколько технологий используемых в сканирующих системах как для ЛА, так и для БПЛА, необходимо выбирать технологию, соответствующую решаемым задачам при мониторинге ПТС. К примеру, проводя мониторинг динамики ОГП, общей геологической и экологической обстановки, на объектах большой протяженности используются системы, базируемые на ЛА (см. рисунок 60, а-в). Для более точного определения изменений в ПТС используются сканеры с несколькими каналами сканирования (см. рисунок 60, г), как на ЛА, так и на БПЛА.

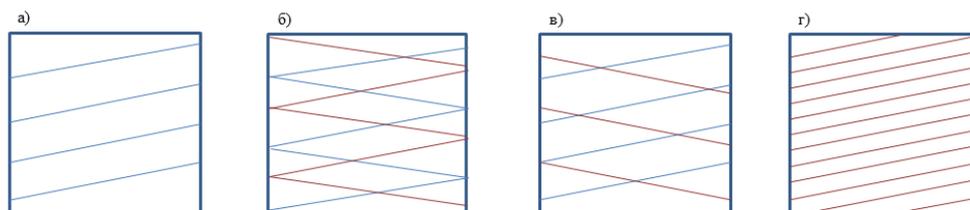


Рисунок 60. Схематическое распределение развертки при сканировании (по Баборыкину М.Ю. Бурцеву А.А., 2019) [39].

а) граненое зеркало (призма) с одноканальным лазером; б) качающееся зеркало с двухканальным лазером; в) граненое зеркало с двухканальным лазером; г) несколько датчиков лидаров (несколько каналов), типа датчика PUCK®¹.

На данный момент погрешность определения ТЛО для сканеров воздушного базирования достигает 3 см при идеальных условиях (для многоканальных сканеров, подтверждено экспериментами, проводимыми автором настоящей диссертационной работы совместно со специалистами ООО «АГМ» Системы). Проводятся эксперименты по повышению точности при использовании GPS/ГНСС (ГЛОНАСС) [Доклад «Релятивистская геодезия и её практические приложения» сделанный Фатеевым В.Ф. X Международная Научно-Практическая Конференция «Геодезия. Маркшейдерия. Аэросъемка. На рубеже веков» 14-15 февраля 2019 г.], а также разрабатываются новые датчики для LiDAR. Следовательно, повышение точности определения ТЛО в пространстве будет решена в будущем и составит не первые сантиметры, а первые миллиметры.

4.4 Концептуальная схема практического проведения мониторинга

Одними из главных компонент являются статические, динамические и ретроспективные модели как геологической среды, так и ПТС с целом. Наличие нулевой статической модели, сформированной на стадии проектирования, позволяет не только выявлять причины появления того или иного ОГП, или их совокупности, на стадиях проектирования, строительства или эксплуатации, но и провести анализ возможного появления процесса и/или явления в будущем.

Формирование нулевой статической модели производится на стадии дешифрирования ОГП на этапе предпроектной проработки (масштаб модели зависит от требований, выставяемых заказчиком), следует помнить, что данная статическая модель может быть не пригодна для использования в мониторинге, однако применима для каталогизации зон распределения ОГП и инженерно-геологических условий для проектирования сетей мониторинга ПТС.

После того как были построены статические модели от нулевой до n осуществляют режимные наблюдения за земной поверхностью исследуемой местности выстраиваются временные ряды статических моделей и выводятся необходимые динамические модели [57]. Данные наблюдения включают в себя [57]:

¹ Новый датчик PUCK™ компании Velodyne.

- нулевой цикл измерений для ОГП или ПТС в целом по установленным маркерам;
- ВЛС производимое повторно через некоторый промежуток времени (согласно программе мониторинга);
- по ранее пройденному алгоритму готовятся новые данные (сканы);
- загрузка и компоновка ЦМР «новых и нулевой моделей»;
- повторное декодирование и повторная интерпретация, а также каталогизация;
- формирование временного ряда из ЦМР/ЦММ;
- получение динамических моделей.

Повторное лазерное сканирование местности производится [57]:

- в районе изучения с разной периодичностью 1 раз в месяц, 1 раз в полугодие, 1 раз в год и т.д., зависящей от скорости протекания процессов и явлений, их активизации (ускорений) и степени опасности определенной на стадии интерпретации.

Учитывая вышеперечисленное, автор настоящей диссертации предлагает концептуальную схему проведения всего цикла работ [35], декодирование и интерпретация ОГП, полевая заверка (фотоотчёт) и проведение мониторинга (см. рисунок 61).

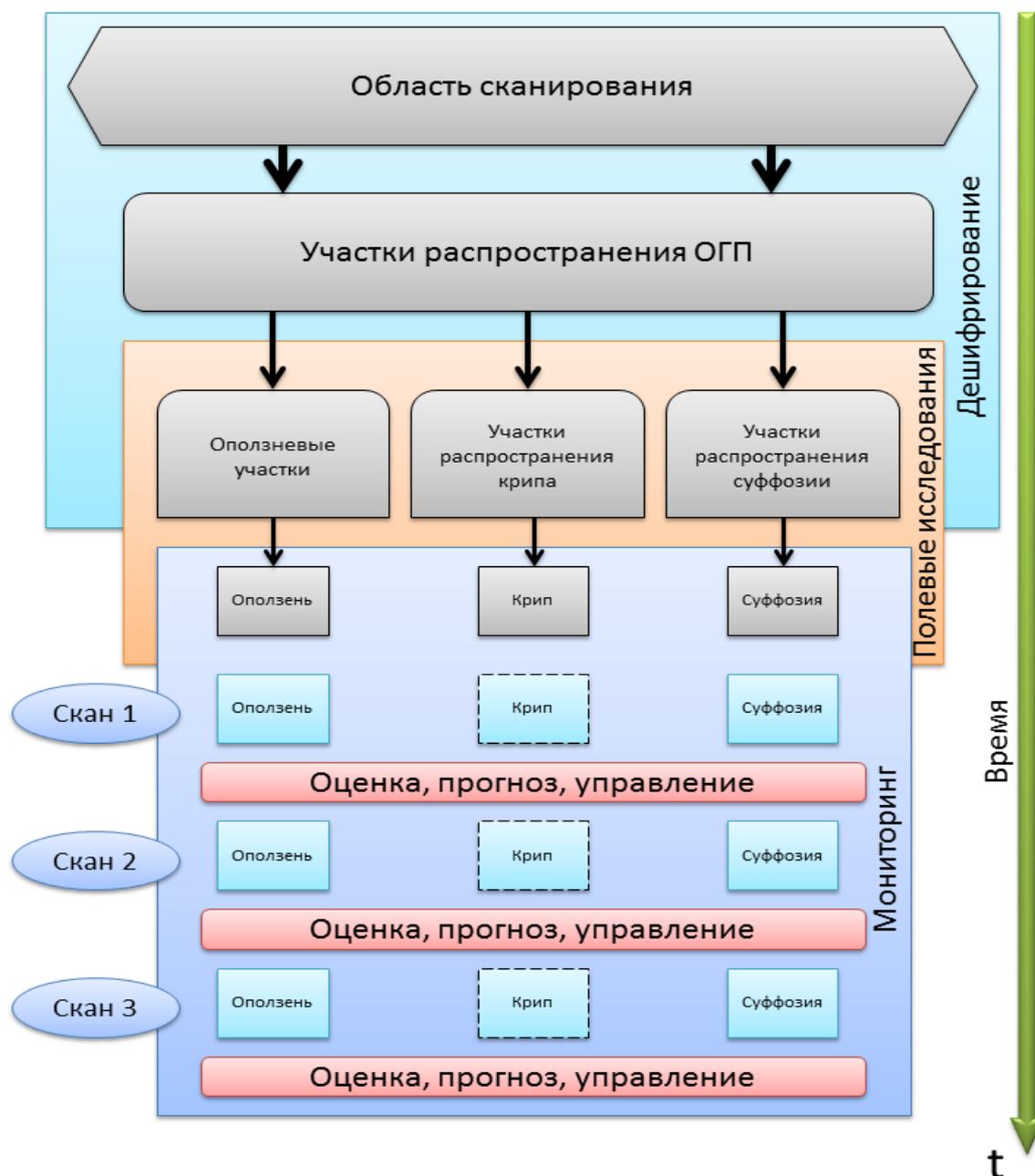


Рисунок 61. Концептуальная схема проведения мониторинга (распознавание опасных геологических процессов, полевой заверке и проведения мониторинга) (по Баборыкину М.Ю. и др., 2017) [76]. Черным пунктиром обозначен экзогенный геологический процесс, который не наблюдался при проведении мониторинга, но по накопленному материалу может быть прослежена эволюция процесса на динамических моделях

В концептуальной модели (блок мониторинг) существует возможность получения ретроспективных моделей, откат во временном ряду до нулевой. Данные возможности в концептуальной модели являются основополагающими при расследовании появления аварий, появившихся по причинам появления и/или активизации того или иного ОГП и ухудшении экологической обстановки (подсчета ущерба и разработки плана ликвидации).

4.5 Результаты практического применения

После проведения дешифрирования и верификации с полевыми работами полученные результаты применяются для формирования детализированных инженерно-геологических карт [17], т.е. построения инженерно-геолого-геоморфологических моделей, используемых в мониторинге. Далее на выделенных участках производится детальное сегментирование оползней согласно точности статической модели [17], его генерации (см. рисунок 62).

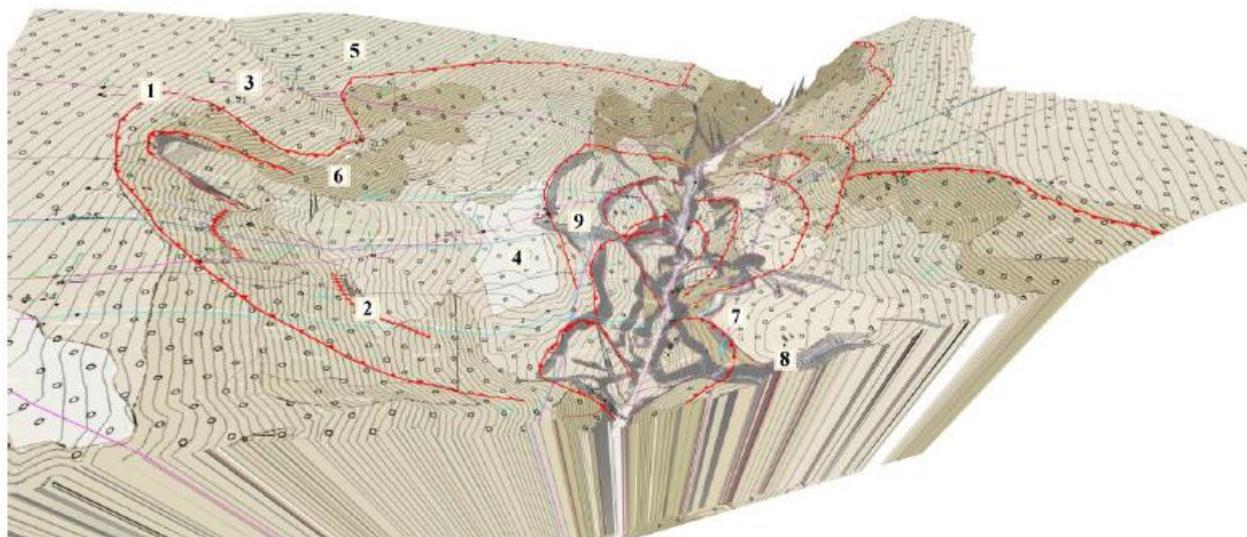


Рисунок 62. Сегментирование выделенных оползневых участков (по автору, 2014) [51].

1 - границы оползней; 2 - трещины растяжения; 3 - профили с деформационными знаками; 4 - уклон 5-10°; 5 - уклон 10-15°; 6 - уклон 15-20°; 7 - геофизический (электротомографический) профиль; 8 - эрозионный врез; 9 - эрозионный врез.

Проведение мониторинга оползней

Мониторинг базируется с одной стороны на получении изменений метрических характеристик (получений скорости протекания наблюдаемого процесса и его ускорений), а с другой выявление причинно-следственных связей и прогноз развития наблюдаемого процесса. При проведении мониторинга необходимо всесторонне проводить оценку статических (см. рисунок 63) и динамических моделей, в некоторых случаях необходимо обращение к ретроспективной модели [17].

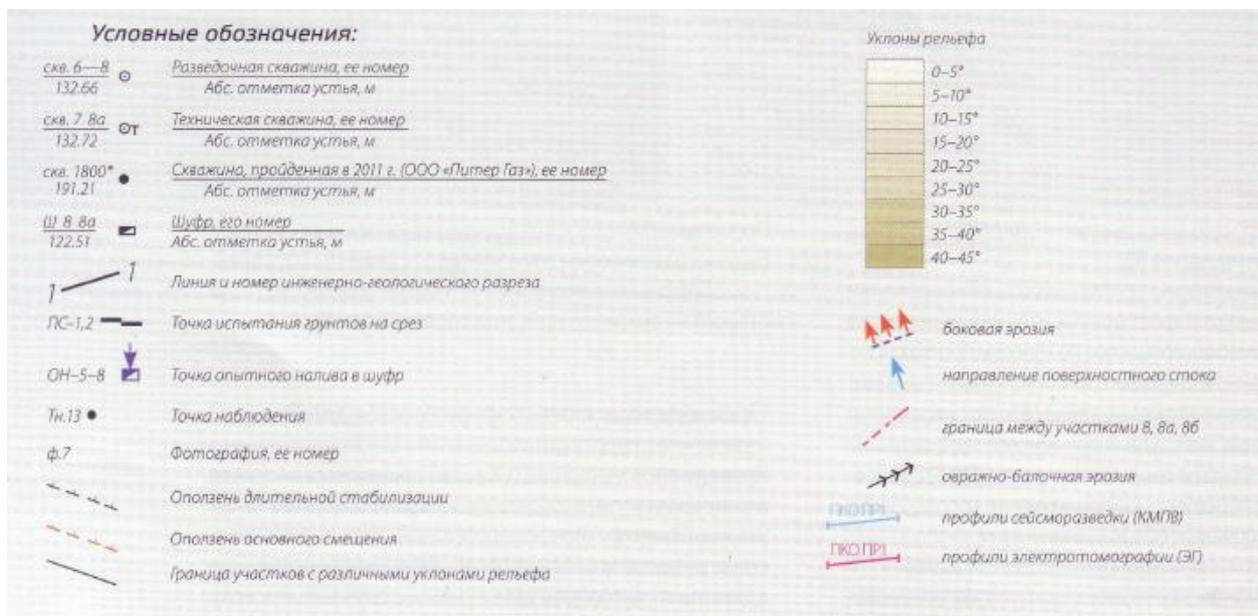
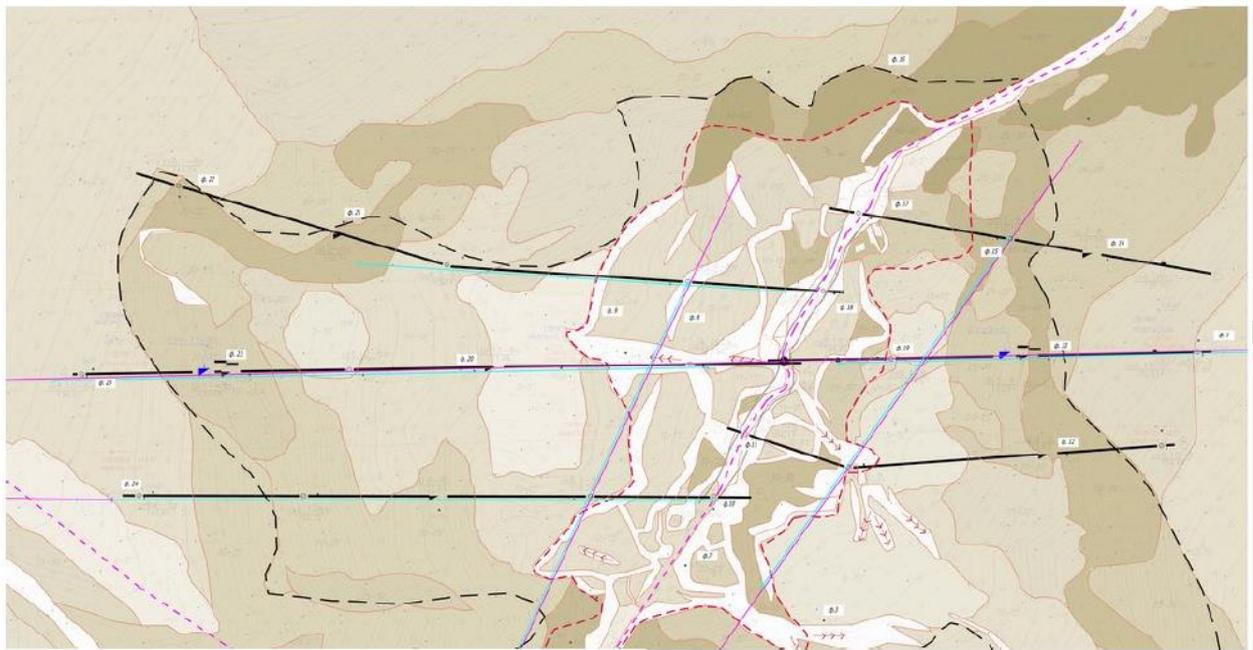


Рисунок 63. Инженерно-геологическая карта одного из выделенных для мониторинга участков масштаба 1:500 (по автору, 2014) [51]..

На основе полученных результатов временного ряда статических моделей возможна разработка схемы стационарных наблюдений при строительстве [17].

К примеру, на объекте Южный поток при проведении мониторинга на основе ВЛС дальнейшими достаточными наблюдениями геодезические методы (см. рисунки 64, 65). Учитывая данные ВЛС полученные с высоты 500 метров от уровня поверхности самой низкой точки рельефа на экспериментальном участке (абсолютная погрешность определения ТЛО в пространстве составило 6 см) было выполнено повторное сканирование в схожих условиях до начала полевых работ. Из полученных ЦМР сформирована двухгодичная

представлен один из наблюдательных профилей с векторами смещений по двум циклам с общим трендом [17].

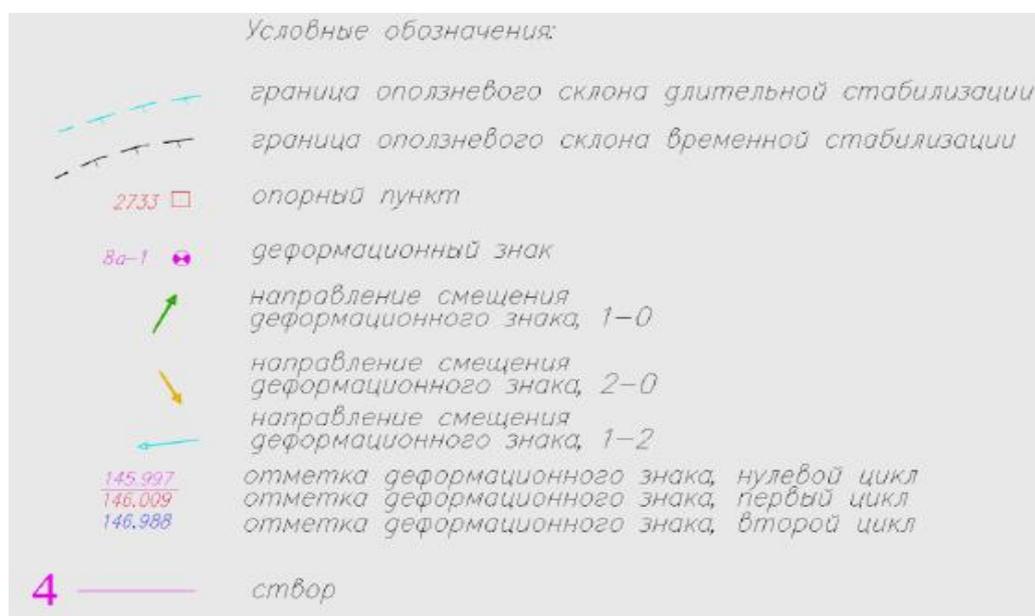
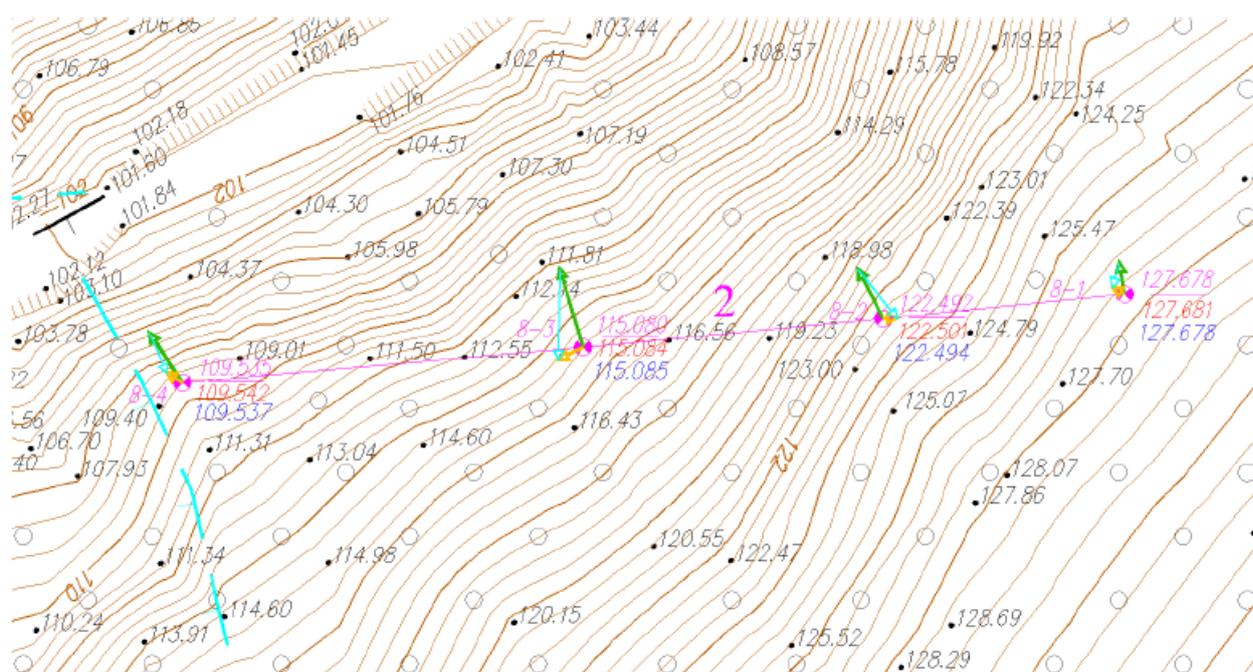
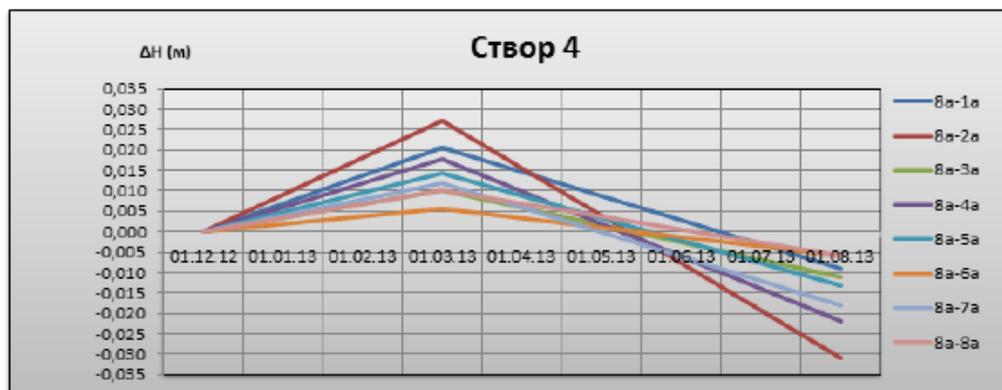
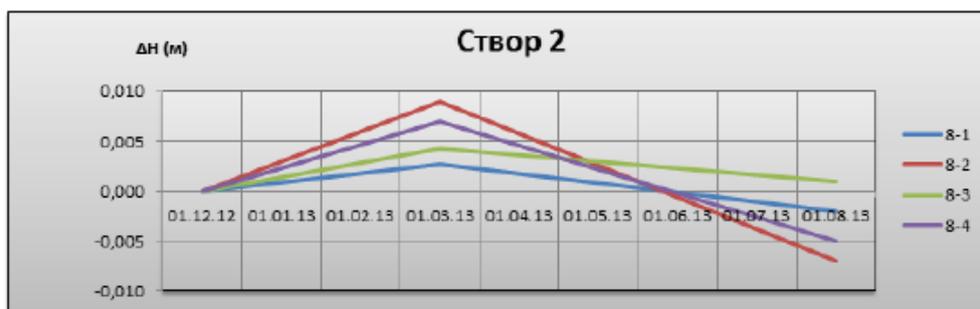


Рисунок 66. Схема расположения одного из створов с деформационными знаками и данными, нанесенными в виде векторов, в масштабе 1:500 (по автору, 2014) [51].

Беря во внимание, что за частую в отчет вставляется не трех мерная модель, а карт материалы в бумажном виде оформление производится: горизонтальные смещения отображаются на плане, вертикальные в графике [17] (см. рисунок 67).



Циклы 0-1-2
Полученные инструментальные данные изменений деформационных знаков по высоте

Рисунок 67. Графики изменений высот точек (по автору, 2014) [51].

8а-1а – 8а-8а в условных обозначениях - номера деформационных знаков (см. рисунки 64, 65).

Одним из пунктов безопасной эксплуатации сооружений является проведение работ отражающих их техническое состояние требующее финансирование. А также отслеживание ОГП которые могут напрямую или опосредованно влиять на инфраструктуру получая прогноз развития. Отсюда, необходимость опираться в первую очередь на обеспечение достаточных данных о состоянии ПТС, а уже во вторую очередь – на бюджет. В случае урезания финансирования вести речь и применять только один геодезический метод наблюдений с установленными деформационными марками в среднем около 40 метров друг от друга говорить не приходится, так как количество блоков в оползне при проведении сегментирования выделяется намного больше [17]. При нехватке финансирования достаточное количество деформационных марок установить не возможно. Общую оценку склона провести можно, но как показала практика на объекте Южный поток, входе проведения разработанной схемы мониторинга выявлены недочеты. При дежурном обходе выявлена активизация оползневого процесса ниже по створу, где марки небыли заложены [17] (см. рисунок 68).



Рисунок 68. Трещина отрыва оползня в коридоре проектируемого трубопровода (по автору, 2014) [51].

После проведения анализа динамической модели верифицированной с геодезическими данными, по профилю, представленному на рисунке 69 видны изменения в рельефе вне зоны влияния деформационных знаков [17]. Синтезированная модель отображает зоны изменений по всей поверхности [17] (см. рисунок 70). Перенос изолиний с синтезированной модели на нулевую статическую модель отображает динамику, которую можно оценить визуально и инструментально (средствами программного продукта) [17] (см. рисунок 71).

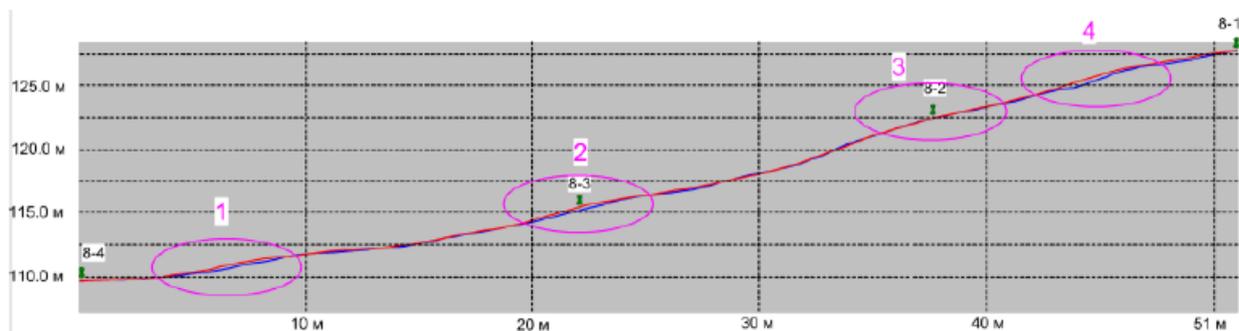


Рисунок 69. Профиль с деформационными знаками (по автору, 2014) [51]. Красным цветом отображен профиль 2010 г., синим - 2012 г., сиреневым обведены зоны изменений в рельефе (с указанием их номеров тем же цветом). Черные цифры - номера деформационных знаков (см. рисунки 64, 65).

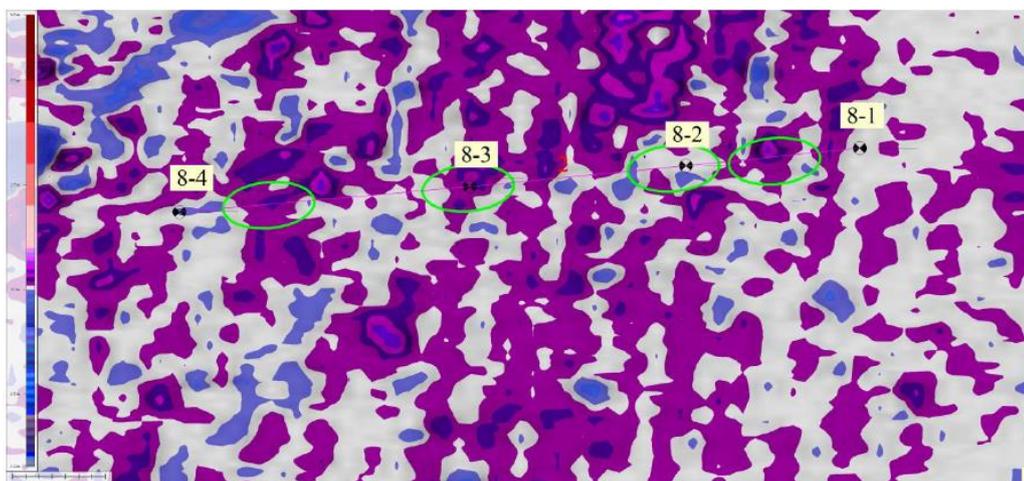


Рисунок 70. Объемная синтезированная модель вычета разновременных рельефов с деформационными пунктами, участвующими в мониторинге (по автору, 2014) [51].

Синий спектр цветов – отрицательные показатели в рельефе, красный – положительные. Зелеными контурами обведены зоны изменений в рельефе, ранее выделенные на рисунке 69. Линия сиреневого цвета – профиль с деформационными знаками. Черно-белые окружности – деформационные знаки, цифры в светлых прямоугольниках – их номера (см. рисунки 64, 65).

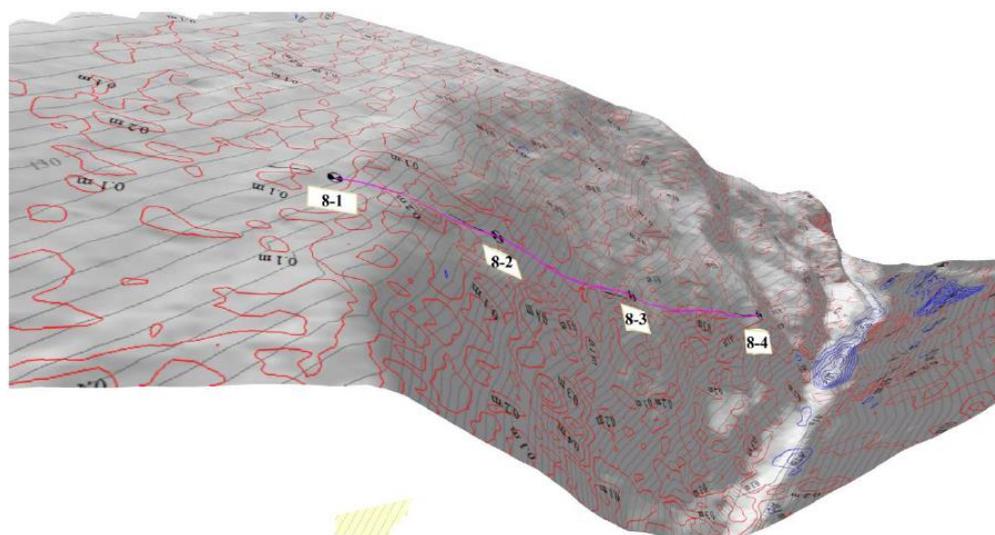


Рисунок 71. 3D модель рельефа с полученными изолиниями после обработки синтезированной геодинамической модели (по автору, 2014) [51].

Горизонталы проведены через 0,1 м. Красным цветом показаны изолинии положительных изменений рельефа во времени, синим - отрицательных, сиреневым – линия профиля с деформационными знаками. Черно-белые окружности – деформационные знаки, цифры в светлых прямоугольниках – их номера (см. рисунки 64, 65).

ВЛС и геодезические методы наблюдения тают количественные характеристики. Следует отметить, что геодезические методы высокоточные и имеют преимущества перед ВЛС, однако покрытие ВЛС позволяет получать также качественные характеристики, которые так же изменяются во времени и служат индикаторами состояния наблюдаемого объекта. Как следствие геодезические методы следует разворачивать точно (ввиду их дороговизны при тотальной установке деформационных марок). На экспериментальном участке объекта «Южный поток» (порядка 40 км по горной местности) выявлено, что для мониторинга необходимо вложения огромных финансов для полноценного изучения динамики при классических методах, применение ВЛС в общей схеме мониторинга позволило не только вписаться в выделенный бюджет, но и всецело изучить динамику, дав прогноз возможного протекания процессов [17]. Верифицированные данные ВЛС и геодезии показали идентичные изменения в рельефе, при том что геодезия только в точках, а ВЛС по всей площади сканирования [17] (см. рисунок 72).

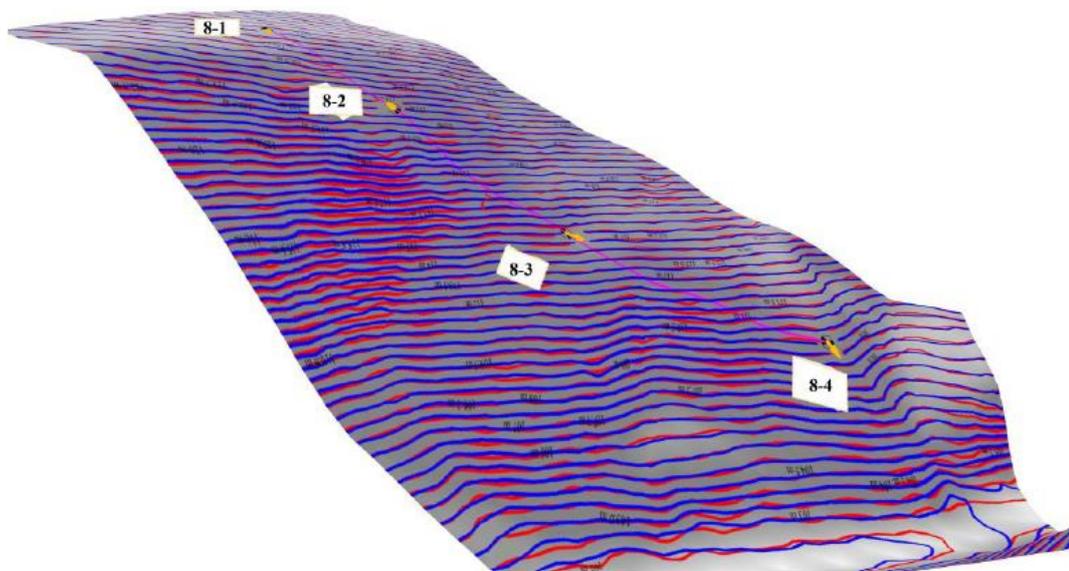


Рисунок 72. Корреляционная 3D модель с отображением динамики по данным геодезического мониторинга и разновременного лазерного сканирования (по автору, 2014) [51].

Красным цветом показаны изолинии 2012 г, синим – изолинии 2010 г., сиреневым – профиль с деформационными знаками, желтыми стрелками – перемещения деформационных знаков по данным геодезических наблюдений. Черно-белые окружности – деформационные знаки, цифры в светлых прямоугольниках – их номера (см. рисунки 64, 65).

При проведении геодезических наблюдениях на каждом из участков были выявлены свои допустимые невязки, которые обусловлены длиной хода и в отдельных ситуациях от неправильно установленных опорных пунктов. Учитывая погрешности, полученные при

длинах хода, интерпретировать полученные данные приходилось по совокупности данных статических и динамических моделей. Благодаря этому из выборки были удалены заведомо ложные значения. Данные полученные при ВЛС имеют постоянную погрешность делая метод преимущественно выгодным перед геодезическим при мониторинге больших территорий в сложных геоморфологических условиях [17] (см. таблицу 22).

Таблица 22. Допустимые и инструментальные погрешности при геодезической съемке и воздушном лазерном сканировании

№ участка	Погрешность, мм			
	При геодезической съемке		При лазерном сканировании	
	Допустимая	Инструментальная	Допустимая	Инструментальная
1	68	14,1	70-50	50
2	34	8,4	70-50	50
3	37	13,8	70-50	50
4	33	13,0	70-50	50
5	37	16,1	70-50	50
6	71	16,1	70-50	50
7	48	15,2	70-50	50
8	117	19,5	70-50	50
9	54	15,8	70-50	50
10	59	14,5	70-50	50
11	43	13,8	70-50	50
12	71	17,0	70-50	50
13	43	18,7	70-50	50
14	35	11,0	70-50	50

Применение методики мониторинга с применением ВЛС разработанного автором настоящей диссертационной работы позволило повысить качество и информативность проводимых работ, оптимизировать сеть мониторинга и повысить качество кратковременного прогноза [17].

4.6 Результаты выполненных исследований

«Проведение мониторинга на основе воздушного лазерного сканирования позволяет начинать мониторинг на стадии проведения инженерных изысканий для проектирования сооружений, изучать геодинамику, получать не только контура экзогенных геологических процессов, но и качественные и количественные характеристики экзогенных геологических

процессов с высокой детализацией и возможностью описания экзогенных геологических процессов согласно нормативных документов по инженерным изысканиям и мониторингу» [Баборыкин 2017, патент RU 2655956 с]. «А также при периодическом лазерном сканировании местности получать скорости развития ОГП, давать оценку опасности того или иного геологического процесса по отношению к сооружению на стадии проекта. Контролировать воздействие природной среды на сооружение при строительстве. Осуществлять безопасную эксплуатацию сооружения при воздействии природной среды на сооружение, локализация воздействия ОГП на сооружение и принятие решения о его инженерной защите» [Баборыкин 2017, патент RU 2655956].

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 по качеству получаемой информации, описанные в пункте 4.3, показали, что для сканера ALS – 70 CM достаточным является высота 480 – 500 м. Учитывая, что оборудование определения высоты летательного аппарата определяется от уровня моря, то высота сканирования закладывается от самой нижней точки выделенных участков. Также учитывая тот момент, что имеются перепады высот в рельефе, выбор количества полос сканирования зависит от ширины захвата сканера при угле наилучшего качества (см. рисунок 73);

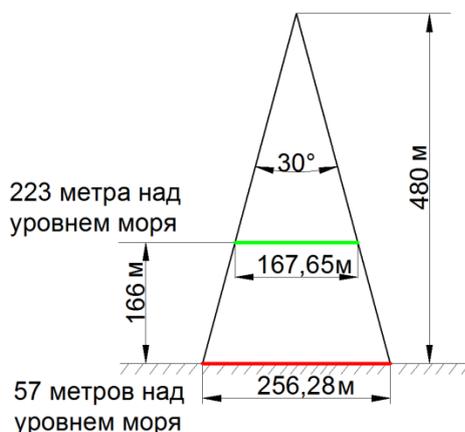


Рисунок 73. Схема коридоров сканирования на экспериментальном участке при перепаде высот от 57 метров до 223 метров над уровнем моря (по автору, 2019).

- 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 процедуры сравнения разновременных ЦМР имеющих приблизительно схожие характеристики точности и плотности ТЛО в программном продукте и формирования динамической модели производится анализ итоговой синтезированной модели. Для отображения динамики на чертежах положительные и отрицательные изменения переводятся в изолинии сечения соответствующего совокупной точности статических моделей и накладываются на необходимую для наглядности ЦМР (как правило, это нулевая модель) [16].

В качестве нулевого цикла при изучении динамики ОГП была принята ЦМР, построенная по материалам ВЛС в марте 2010 года (см. рисунок 74).



Рисунок 74. Изучаемые участки в пределах коридора проектной трассы (по автору, 2013) [50].

При проведении следующего цикла сканирования для мониторинга в 2012 году проводились полеты со схожими условиями, ясная погода, отсутствие листвы. При проведении процедуры сравнения выявлены изменения в рельефе за двухгодичный период. [16] (см. рисунок 75).

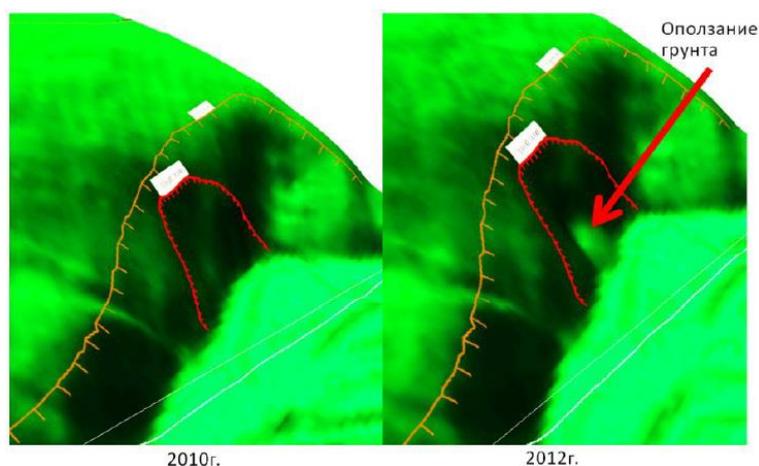


Рисунок 75. Временной ряд статических моделей. Динамика склоновых процессов (по автору, 2013) [50].

Математическое сравнение статических моделей 2010 и 2012 годов произведено программным продуктом позволяющим производить процедуру вычета ЦМР. Итогом сравнительного анализа явилась динамическая модель [16] (см. рисунки 76, 77).

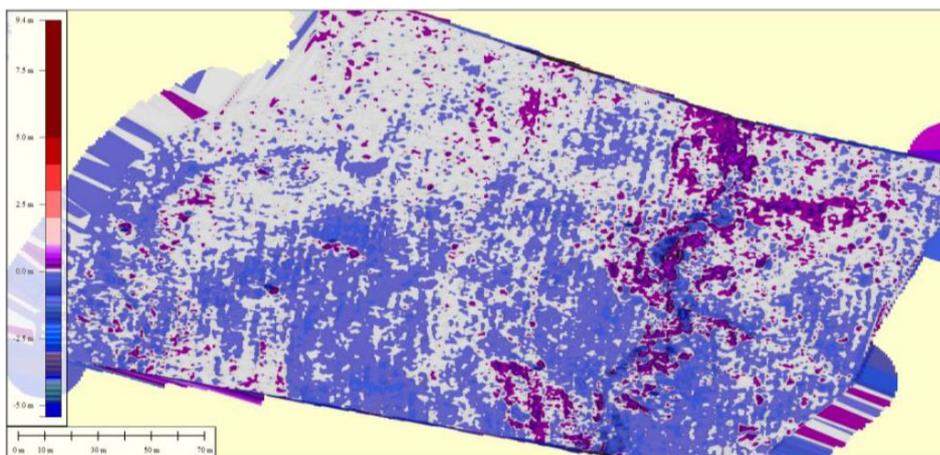


Рисунок 76. Динамическая модель (по автору, 2013) [50].

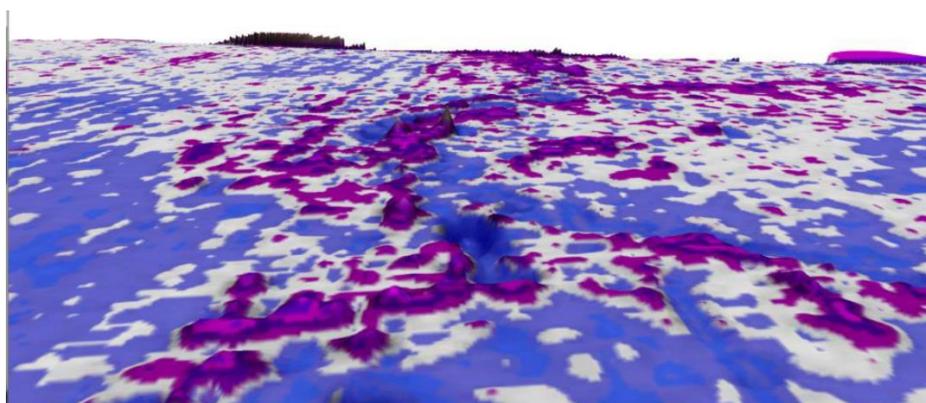


Рисунок 77. 3D динамическая модель (по автору, 2013) [50].

После построения изолиний через 10 см с учетом среднеквадратической точности статических моделей 4 см (шум) на геодинамической модели и переносе на нулевую ЦМР получаем синтезированную модель, производилась верификация с инструментальными наблюдениями, расхождение зафиксировано в пределах 6-9 см [16] (см. рисунок 78, 79).

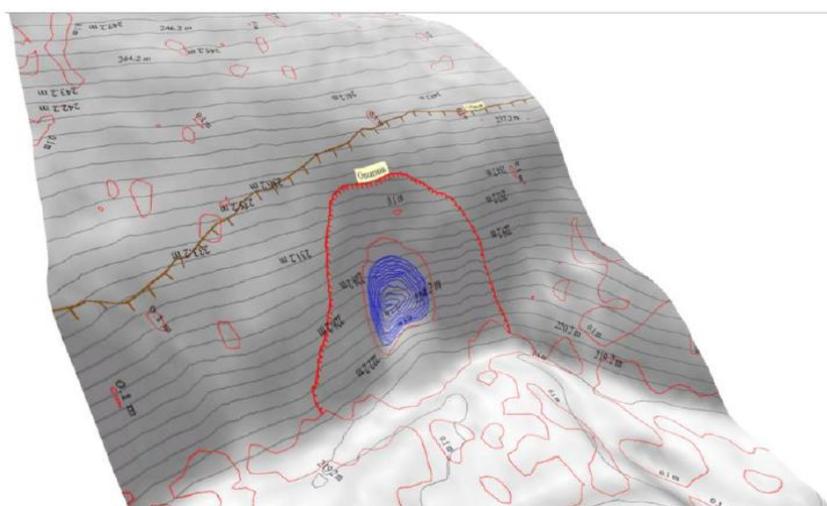


Рисунок 78. 3D модель динамики оползневого склона (по автору, 2013) [50].

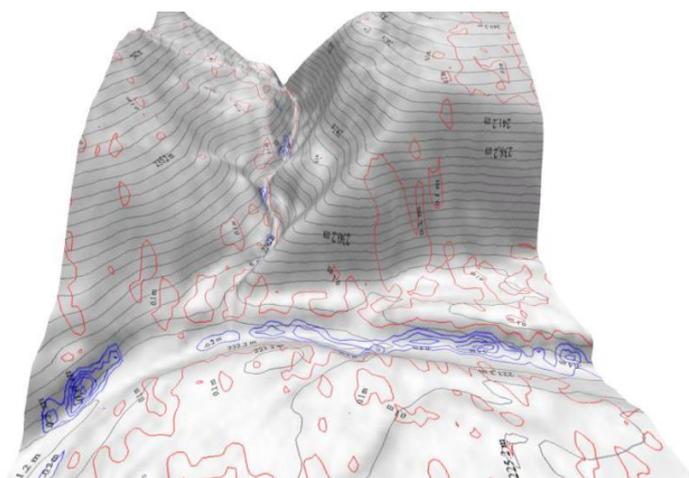


Рисунок 79. 3D модель динамики эрозионных врезов (по автору, 2013) [50].

По итогам проведенных работ разработана методика проведения мониторинга и получен патент на изобретение (см. Приложение В) «Способ проведения геотехнического мониторинга линейных сооружений и площадных объектов на основе воздушного лазерного сканирования» [57].

На основе изучения возможностей ВЛС и отслеживания тенденций разработки новых образцов лазерных комплексов, включая российские аналоги, разработана методика проведения геотехнического мониторинга на трубопроводах подземной прокладки. Метод представляет собой определение изменений металлических квадратных пластин в пространстве (см. рисунок 80) [58] (см. Приложение Г).



Рисунок 80. Использование устройства определения плано-высотного положения трубопровода (по Баборькину М.Ю. Бурцеву А.А., 2019) [39].

На сегодняшний день ВЛС в геотехническом мониторинге применяется как дополнительный метод измерений применяемых в совокупности методов необходимых для проведения качественного геотехнического мониторинга.

По итогам разработки методики получен патент на полезную модель (см. Приложение Г) «Устройство определения планово-высотного положения трубопровода».

4.7 Выводы

Разработанные методологические принципы проведения мониторинга на основе ВЛС являются одним из видов проведения мониторинга геологической и экологической среды. Проведенные эксперименты, выработанная методика с теоретическими основами и практическое применение показали свою эффективность на объектах «Южный Поток» (Турецкий поток) и на объекте «Продуктопровод Туапсинский район».

Сведение данных ВЛС и классических геодезических наблюдений показало на практике с какой достоверностью фиксируются изменения. Методика мониторинга, разработанная на участке трассы газопровода «Южный поток» (Турецкий поток) и «Продуктопровод Туапсинский район» позволила произвести системные наблюдения за ОГП на большой протяженности. Следует помнить, что подготовительной частью мониторинга является дешифрирование, включающее в себя декодирование – поиск ОГП и интерпретация – определение класса, вида и подвида ОГП согласно нормативным документам, применяемым в проектировании. А также определение качественных и количественных характеристик и активность по внешним признакам. При проведении экспериментов с ВЛС выявлено, что выработанные критерии для дешифрирования ОГП не подходят для мониторинга, как в плане плотности массива ТЛО от истинной поверхности земли, так и в точности определения ТЛО в пространстве. Следовательно, станции GPS (GPS base station) GPS/ГНСС (ГЛОНАС) и опознавательные знаки (3D Ground Control Point) должны быть установлены стационарно. Также автором настоящей диссертационной работы выявлено, совместно со специалистами ООО «АГМ Системы» г. Краснодар, что оптимальное расстояние опознавательных знаков, используемых для трансформации в другие системы координат для высокой точности должно составлять 2,5 км. Учитывая класс точности инерциальной системы, среднеквадратической погрешности сканера и точности определения положения в пространстве ТЛО GPS/ГНСС (ГЛОНАС) и разрешающей способности цифровой фотокамеры, возможность получения данных мониторинга с погрешностью в 3 см, при близких к идеальным условиям, становится возможным. На данный момент разработанное в России оборудование - система сканирования для БПЛА, показывает

точность определения ТЛО в пространстве равное 3 см, данное утверждение подтверждено экспериментами ООО «АГМ Системы» г. Краснодар (сканер АГМ-3) с полезной информацией для мониторинга 40 град от надира с высоты 50 и 100 и, 35 град от надира с высоты 150 м от поверхности земли.

Проведенный мониторинг на объекте «Южный Поток» (Турецкий поток) в 2010-2012 году сканирующей системой Leica ALS-70CM позволил учесть все факторы, негативно влияющие на эксплуатацию будущего сооружения. Мониторинг при проведении инженерных изысканий позволил обосновать перетрассировки участков с оползновыми процессами. Участки, которые невозможно было обойти в силу полученных данных об инженерных коммуникациях, данных по археологии и землепользованию, детально изучались. Обоснованием явилось дистанционное выделение с морфометрическими характеристиками ОГП и их полевая заверка. В связи с этим появилась необходимость системных наблюдений за опасными геологическими процессами для принятия качественных проектных решений по защите линейного сооружения. Решение использования воздушного лазерного сканера в качестве средства проведения мониторинга позволило выявить изменения в рельефе по всей протяженности экспериментального участка, тем самым технически грамотно спроектировать сети геодезических наблюдений, распределить деформационные знаки с геодезическими профилями и увеличить срок наблюдения с одного года до трёх лет (описано в главе пункт 4.5).

Масштабные наблюдения на основе воздушного лазерного сканирования, совмещённого с аэрофотосъёмкой, позволили более качественно установить зависимости оползнеобразования в глубоких V-образных эрозионных врезках (руслах ручьёв) с сезонными паводками, а также выявить оползневые структуры полигенного характера, образованные за счёт неотектонических движений и гравитационных сил. Выявленные опасные геологические факторы прямого воздействия, связанные с изменчивостью физико-механических свойств грунтов, указывают на криповые течения грунтов на склонах. Учитывая полученные данные лабораторных исследований по ГОСТ 25100-2011 [77] грунты являются не набухающими ($<0,04$), однако мониторинговые наблюдения показали, что глинистые грунты на склонах где распространены оползневые явления показали изменения в рельефе при обильном влагонасыщении (набухание) и усадку при длительном отсутствии дождей, но по нормативным документам относятся к не набухающим. При проведении наблюдений, основанных на воздушном лазерном сканировании, было замечено появление незначительных изменений на склонах по всей площади исследований (бугры и западины, не превышающие по высотным значениям 8 см.), было выдвинуто предположение, что полигенные процессы, протекающие на склонах, связаны с набуханием глинистых грунтов и

в дальнейшем происходит активизация крипа. Более точные геодезические наблюдения подтвердили выше описанные процессы.

На исследуемой территории в большинстве случаев оползни находились в состоянии длительной стабилизации. На экспериментальном участке трассы газопровода зафиксированы движения по нескольким оползневым участкам. При формировании динамической и ретроспективной моделей оползней не находящихся в стабилизированном состоянии верифицированных со стационарными геодезическими наблюдениями смещения грунтовой массы за 3 года зафиксировано до 20-30 см. Наибольшие перемещения зафиксированы в весенний период после снеготаяния и выпадения обильных осадков (до 6-10 см), средние скорости перемещений в осенне-зимний период до промерзания грунтов во время выпадения обильных осадков (до 4-5 см), в относительно сухие сезоны движений практически не зафиксировано [17].

Согласно полученным данным при неизменной природной обстановке процессы оползания будут вялотекущими, так как естественный сток не нарушен, а землетрясение, произошедшее 10.12.12 в районе города Новороссийска – не оказало существенного воздействия, скорости перемещения оползней не изменились. По официальным данным в районе города Новороссийска магнитуда землетрясения составила 4,8 балла, в Сочи - 3 балла, в Анапе - 4 балла, в Краснодаре - силой 1,5 балла по шкале Рихтера, эпицентр землетрясения находился на глубине около десяти километров, в 32 км от города – героя Новороссийска в районе станицы Натухаевская. Всего в зону сейсмологического события попали 236 населённых пунктов с населением 890 371 человек.

После изменения геологических условий (сейсмических воздействий, водонасыщением грунтов, нарушении естественного стока и т.п.) произойдёт активизация временно стабилизированных оползней, вялотекущие процессы перейдут в быстро протекающие процессы, а на склонах могут появиться оползневые явления [17].

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» [35, с 83] и площадных объектах, понизив влияния геологических факторов на экологический риск, последствий воздействия геологических процессов на экосистемы.

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» [35, с 83] 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, встраивание 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.

Литература

1. Абалаков А.Д. Экологическая геология. Учебное пособие [Книга]. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007 – стр. 61-69.
2. Абатурова И. В., Савинцев И. А., Писецкий В. Б., Петрова И. Г. 2013. Оценка и прогноз инженерно-геологических условий на разных стадиях разведки месторождений полезных ископаемых // Литосфера, 2013, № 3, С. 137–145.
3. Авгевич, В.И. Об использовании аэроснимков при изучении динамики ледового покрова рек [Статья]. / В.И. Авгевич. Изв. Вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, вып. 6, 1961.
4. Агентов, В.Б. Использование материалов аэро и космических съемок при прогнозировании и поисках твердых полезных ископаемых [Книга]. / В.Б. Агентов, В.С. Андреев, А.В. Артемов, И.М. Битерман и др. Изд.: М.: Недра, 1988. 114 с.
5. Ананьев, О.С. Дистанционные методы геологических исследований, прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых [Книга]. / Ю.С. Ананьев, В.Г. Житков, А.А. Поцелуев. Изд.: SST, Томск, 2012. 304 с.
6. Анисимова Н.Г. Природные опасности России. Том 3. Экзогенные геологические опасности. // Н.Г. Анисимова и др. М.: КРУК, 2002. 348 с.
7. Ануфриев, А.М. Аэрокосмометоды в геологии / А.М. Ануфриев. Казань: Казанский Государственный Университет, 2007 г., 82 с.
8. Антипов, В.С. Аэрокосмические методы геологических исследований [Книга] / В.С. Антипов, В. И. Астахов, Н.А. Брусничкина, И.А. Бычкова и др. Изд.: ФГУНПП Аэрогеология, Санкт-Петербург, 2000. 316 с.
9. Апродов В.А. Геологическое картирование [Книга]. / В.А. Апродов. Издательство: Географгиз, 1952. 372 с.
10. Аристахова, Л.Б. Морфоскульптурный анализ аэрокосмических снимков и топографических карт. Учебное пособие [Книга] – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000 – 64 с.
11. Аэрометоды геологических исследований. Лаборатория аэрометодов МГ СССР. Л., «Недра», 1971. 704 с.
12. Аэрометоды исследования местности [Книга]. / Географическое общество СССР. Московский филиал. Издательство: М.: Недра, 1966. 115 с.
13. Аэрометоды при геологической съемке и поисках полезных ископаемых [Книга]. / Под редакцией В.Н. Брюханов, Б.П. Высоцкий, научный руководитель и главный редактор Г.Ф. Лунгерсгаузен. Издательство: М.: Недра, 1964. 464 с.
14. Баборыкин, М.Ю. Факторы геологической опасности при проектировании и эксплуатации трубопроводов и их мониторинг [Статья]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Газовая промышленность № 11/730/2015. С. 40-46.

15. Баборыкин, М.Ю. Выстраивание практики и методики взаимодействия проектировщиков и изыскателей на примере объекта газификации объектов Краснодарского края [Статья]. / М.Ю. Баборыкин // Инженерные изыскания. 2015. №7. С. 40-43.
16. Баборыкин, М.Ю. Мониторинг опасных геологических процессов на линейных объектах [Статья] / М.Ю. Баборыкин // Инженерные изыскания. 2013. №10-11. С. 44-55.
17. Баборыкин, М.Ю. Мониторинг оползней с использованием лазерного сканирования и геодезических наблюдений [Статья] / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева // Инженерные изыскания. 2014. №3. С. 16-24.
18. Баборыкин, М. Ю. Дешифрирование материалов аэрокосмической съемки для анализа инженерно-геологических условий в общем алгоритме изысканий на линейных объектах [Статья] / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Инженерные изыскания. - 2014. № 9-10. С. 13-21.
19. Баборыкин, М.Ю. Выявление опасных геологических процессов при проведении инженерно-геологических изысканий на основе цифровых моделей рельефа [Статья]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Инженерные изыскания. 2015. №2. С. 30-37.
20. Баборыкин, М.Ю. Дистанционное Зондирование Земли в инженерной геологии. Создание опережающих инженерно-геологических карт [Статья]. / М.Ю. Баборыкин // Геоинжиниринг № 1 (10) лето 2011. С. 38 – 44.
21. Баборыкин, М.Ю. Комплексное обследование оползней [Статья]. / М.Ю. Баборыкин, А.М. Кулижников, Р.А. Еремин // Журнал автомобильные дороги. Февраль 2018 №2 (1035). С. 106-113.
22. Баборыкин, М.Ю. Методико-технические аспекты при проведении дешифрирования опасных геологических процессов по данным воздушного лазерного сканирования [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, В.П. Ерух, Е.В. Жидиляева // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи. Сб. науч. трудов. Краснодар: Просвещение-Юг. 2015. С.185-190.
23. Баборыкин, М.Ю. Воздушное лазерное сканирование как один из методов аэрогеологии при проведении дешифрирования опасных геологических процессов и явлений [Статья]. / М.Ю. Баборыкин // Сборник статей. III Международная научная конференция «SCIENCE, TECHNOLOGY AND LIFE – 2016». Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow, 24-25 December 2016. С. 474-496.
24. Баборыкин, М.Ю. Корпоративная геоинформационная система для нужд инженерной геологии [Статья]. / М.Ю. Баборыкин // Геоинжиниринг № 1 (17) весна, 2013. С. 56-60.

25. Баборыкин, М.Ю. Методика проведения мониторинга на объекте «Южный Поток» [Статья]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева // Сфера Нефть и газ № 3, 2014(41). С. 16-27.

26. Баборыкин, М.Ю. Дешифрирование опасных геологических процессов для повышения качества на линейных объектах [Статья]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Геоинжиниринг № 3 (23) осень, 2014. С. 74-85.

27. Баборыкин, М.Ю. Факторы геоопасности при проектировании и эксплуатации трубопроводов и их мониторинг [Статья]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Геоинжиниринг № 4 (24) зима, 2014. С. 70-79.

28. Баборыкин, М.Ю. Факторы геологической опасности на линейных трубопроводах [Статья]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Сборник статей, SCIENCE XXI CENTURY Proceedings of materials the international scientific conference Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow, 30-31 July 2015. С. 806-817.

29. Баборыкин, М.Ю. Роль аэрометодов при инженерно-геологических изысканиях [Статья]. / М.Ю. Баборыкин // Вестник инженерных изысканий № 4(23) апрель 2016. С. 15-16.

30. Баборыкин, М.Ю. Многоцелевое использование воздушного лазерного сканирования. Ценообразование. Нормирование [Статья]. / М.Ю. Баборыкин // НЕЗАВИСИМЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ "ГеоИнфо". 2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geoinfo.ru/product/baborykin-maksim-yurevich/mnogocelevoe-ispolzovanie-vozdushnogo-lazernogo-skanirovaniya-cenoobrazovanie-normirovanie-34492.shtml> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

31. Баборыкин, М.Ю. Возможности дешифрирования ОГПиЯ по данным воздушного лазерного сканирования [Статья]. / М.Ю. Баборыкин // НЕЗАВИСИМЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ "ГеоИнфо". 2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geoinfo.ru/product/baborykin-maksim-yurevich/vozmozhnosti-deshifrirovaniya-ogpiya-po-dannym-vozdushnogo-lazernogo-skanirovaniya-34503.shtml> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

32. Баборыкин, М.Ю. Создание банка данных инженерно-геологической изученности в ГИС [Статья]. / М.Ю. Баборыкин // НЕЗАВИСИМЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ "ГеоИнфо". 2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geoinfo.ru/product/baborykin-maksim-yurevich/sozдание-banka-dannyh-inzhenerno-geologicheskoy-izuchennosti-v-gis-35026.shtml> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

33. Баборыкин, М.Ю. Практическое применение данных дешифрирования экзогенных геологических процессов по данным ВЛС [Статья]. / М.Ю. Баборыкин //

НЕЗАВИСИМЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ "ГеоИнфо". 2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geoinfo.ru/product/baborykin-maksim-yurevich/prakticheskoe-primenenie-dannyh-deshifrirovaniya-ehkzogennyh-geologicheskikh-processov-po-dannym-vls-35064.shtml> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

34. Баборыкин, М.Ю. Воздушное лазерное сканирование – нормативно-технические документы и регулирование ценообразования [Статья]. / М.Ю. Баборыкин // «Наука и Мир» (№ 6 (46), июнь), 2017. С. 70-73.

35. Баборыкин, М.Ю. Концепция проведения мониторинга опасных геологических процессов и явлений на основе воздушного лазерного сканирования [Статья]. / М.Ю. Баборыкин, А.А. Бурцев // «Наука и Мир» (№ 9 (49), сентябрь), 2017. С. 78-84.

36. Баборыкин, М.Ю. Дешифрирование ОГП и их мониторинг при помощи воздушного лазерного сканирования [Статья]. / М.Ю. Баборыкин // НЕЗАВИСИМЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ "ГеоИнфо". 2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geoinfo.ru/product/baborykin-maksim-yurevich/deshifrirovanie-ogp-i-ih-monitoring-pri-pomoshchi-vozdushnogo-lazernogo-skanirovaniya-36343.shtml> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

37. Баборыкин, М.Ю. Методико-технические аспекты при проведении дешифрирования опасных геологических процессов по данным воздушного лазерного сканирования [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, В.П. Ерух, Е.В. Жидиляева // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи. Сб. науч. трудов. Краснодар: Просвещение-Юг, 2015г. С. 185-190.

38. Баборыкин, М.Ю. Создание комплекта тематических карт с оценкой сейсмотектонических условий на объектах трубопроводного транспорта (на примере газопровода «Южный Поток») [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, Н.И. Овсяченко, А.С. Алешин, С.В. Шварев, А.Н. Овсяченко, Е.А. Рогожин // VI Общероссийская конференция и выставка с международным участием «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». Издательский центр «Геомаркетинг» г. Москва 2010. С. 131-133.

39. Баборыкин, М.Ю. Дешифрирование и мониторинг физико-геологических процессов и явлений на трубопроводах воздушным лазерным сканером [Тезисы] / М.Ю. Баборыкин, А.А. Бурцев // Тезисы докладов XIV Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том III «Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: гидрогеология и инженерная геология, геоэкология». Издательство: Российский Государственный Геологоразведочный Университет Имени Серго Орджоникидзе. Москва, 2019. С. 38-41.

40. Баборыкин, М.Ю. Мониторинг геопасных явлений на линейных трубопроводах на основе воздушного лазерного сканирования [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: Современное состояние и основные задачи. Материалы Первой региональной научно-практической конференции 29–31 октября 2014 г. С. 24-29.

41. Баборыкин, М.Ю. Геопасные факторы на линейных трубопроводах [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: Современное состояние и основные задачи. Материалы Первой региональной научно-практической конференции 29–31 октября 2014 г. С. 30-37.

42. Баборыкин, М.Ю. Дешифрирование материалов лазерного сканирования для определения инженерно-геологических условий в общем алгоритме изысканий на линейных объектах [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, Т.В. Любимова, А.Г. Погосян // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: Современное состояние и основные задачи. Материалы Первой региональной научно-практической конференции 29–31 октября 2014 г. С. 39-44.

43. Баборыкин, М.Ю. Мониторинг оползней с использованием лазерного сканирования и геодезических наблюдений [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: Современное состояние и основные задачи. Материалы Первой региональной научно-практической конференции 29–31 октября 2014 г. С. 157-163.

44. Баборыкин, М.Ю. Технология мониторинга опасных геологических процессов на линейных объектах в разных инженерно-геологических условиях [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: Современное состояние и основные задачи. Материалы Первой региональной научно-практической конференции 29–31 октября 2014 г. С. 340-346.

45. Баборыкин, М.Ю. Выявление опасных геологических процессов и явлений при проведении инженерно-геологических изысканий на основе цифровых моделей рельефа [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы X общероссийской конференции изыскательских организаций 3-5 декабря 2014 г. С. 20-23.

46. Баборыкин, М.Ю. Методика проведения мониторинга опасных геологических процессов на основе воздушного лазерного сканирования [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, С.В. Журавлёв // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: Современное состояние и основные задачи. Материалы Второй региональной научно-практической конференции 26-27 ноября 2015.С. 44-50.

47. Баборыкин, М.Ю. Дешифрирование и мониторинг опасных геологических процессов [Тезисы]. / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева // Сборник материалов. Девятая всероссийская научная конференция с международным участием «ВУЛКАНИЗМ, БИОСФЕРА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ». Майкоп-Краснодар-Туапсе 2018. С. 121-125.

48. Баборыкин, М.Ю. Создание банка данных инженерно-геологической изученности в геоинформационной системе на примере ООО «Геопроектстрой» [Конференция]. / М.Ю. Баборыкин // I Научно- практическая конференция «Изучение опасных геологических процессов и явлений при инженерных изысканиях». Издательский центр «Геомаркетинг» г. Москва 21-22.04.2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://geomark.ru/konferencii/21-22-aprelya-2016-goda-i-nauchno-prakticheskaya-ko/attachment/6-baborykin-myu-sozdanie-banka-output/> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

49. Баборыкин, М.Ю. Дешифрирование инженерно-геологических условий в общем алгоритме изысканий на линейных объектах» [Конференция] / М.Ю. Баборыкин // I Практическая конференция «Инженерные изыскания на линейных объектах». Издательский центр «Геомаркетинг» г. Москва 10.07.2014 г [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.geomark.ru/ecwd_event/10-iyunya-2014-god-i-prakticheskaya-konferenciya/attachment/8-baborykin-output/ (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

50. Баборыкин, М.Ю. Мониторинг опасных геологических процессов на линейных объектах [Конференция]. / М.Ю. Баборыкин // I практическая конференция «геотехнический мониторинг и мониторинг развития опасных геологических процессов». Издательский центр «Геомаркетинг» г. Москва 26 – 27.09.2013 г [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.geomark.ru/ecwd_event/26-27-sentyabrya-2013-god-i-prakticheskaya-konfere/attachment/7-baborykin-output/ (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

51. Баборыкин, М.Ю. Мониторинг оползней методами лазерного сканирования и геодезических наблюдений на объекте «Южный поток» [Конференция]. / М.Ю. Баборыкин // I практическая конференция «инженерные изыскания на объектах нефтегазового комплекса». Издательский центр «Геомаркетинг» г. Москва 27 – 28.02.2014 г [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.geomark.ru/ecwd_event/27-28-fevralya-2014-god-i-prakticheskaya-konferen/attachment/24-baborykin/ (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

52. Баборыкин, М.Ю. Факторы геоопасности при проектировании и эксплуатации трубопроводов и их мониторинг [Конференция]. / М.Ю. Баборыкин // II практическая конференция «геотехнический мониторинг и мониторинг развития опасных геологических процессов». Издательский центр «Геомаркетинг» г. Москва 25 – 26.09.2014 г [Электронный

ресурс]. Режим доступа: http://www.geomark.ru/ecwd_event/25-26-sentyabrya-2014-god-ii-prakticheskaya-konfere/attachment/14-baborykin-output/ (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

53. Баборыкин, М.Ю. Выявления опасных геологических процессов и явлений при проведении инженерно-геологических изысканий на основе цифровых моделей рельефа [Конференция]. / М.Ю. Баборыкин // X Общероссийская конференция и выставка с международным участием «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». Издательский центр «Геомаркетинг» г. Москва 03 – 05.12.2014 г [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.geomark.ru/ecwd_event/3-5-dekabrya-2014-god-x-obshherossiyskaya-konfere/attachment/5-baborykin-geologiya/ (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

54. Баборыкин, М.Ю. Выстраивание практики и методики взаимодействия проектировщиков и изыскателей при решении задач проектирования на основе данных дешифрирования на объекте Газификация Юго-Западных районов Краснодарского края [Конференция]. / М.Ю. Баборыкин // I практическая конференция «инженерные изыскания и проектирование: единый комплекс работ и взаимодействие специалистов». Издательский центр «Геомаркетинг» г. Москва 19.03.2015 г [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.geomark.ru/ecwd_event/19-marta-2015-god-i-prakticheskaya-konferenciya/attachment/9-baborykin-output/ (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

55. Баборыкин, М.Ю. Дешифрирование экзогенных геологических процессов по данным воздушного лазерного сканирования [Конференция]. / М.Ю. Баборыкин // I научно-практическая конференция «изучение опасных природных процессов и явлений при инженерных изысканиях». Издательский центр «Геомаркетинг» г. Москва 21 – 22.04.2016 г [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.geomark.ru/ecwd_event/21-22-aprelya-2016-goda-i-nauchno-prakticheskaya-ko/attachment/8-baborykin-myu-deshifrirovaniye-yekzogen/ (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

56. Баборыкин, М.Ю. Способ дешифрирования экзогенных геологических процессов и геологических условий [Патент]. / М.Ю. Баборыкин // Патент № 2655955. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/265/2655955.html> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

57. Баборыкин, М.Ю. Способ проведения геотехнического мониторинга линейных сооружений и площадных объектов на основе воздушного лазерного сканирования [Патент]. / М.Ю. Баборыкин // Патент № 2655956. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/265/2655956.html> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

58. Баборыкин, М.Ю. Устройство определения планово-высотного положения трубопровода [Патент]. / М.Ю. Баборыкин // Патент № 173296. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://patents.s3.yandex.net/RU173296U1_20170821.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.
59. Баранов, Ю.Б. Дистанционные методы в геологии [Книга]. / Ю.Б. Баранов, И.Н. Корчуганова, А.Е. Михайлов. Изд.: М.: Недра, 1993. 224 с.
60. Баклагин В. Н. 2013. Построение математической модели котловины Онежского озера. [Электронный ресурс] Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2015. Сделано в СКНЦ ВШ ЮФУ. Номер 3, 2013 г. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-matematicheskoy-modeli-kotloviny-onezhskogo-ozera> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз.рус.
61. Берлянт, А.М. Теория геоизображений [Книга]. – М.: ГЕОС. 2006 – 262 с. + 30 с. цветных иллюстраций.
62. Бахтеев, М.К. Лабораторные работы по структурной геологии, геокартированию и дистанционным методам [Книга]. / М.К. Бахтеев, Д.С. Кизевальтер, А.Е. Михайлов, М.И. Никитин и др. Изд.: М.: Недра, 1988. 196 с.
63. Богомолов, Л.А. Дешифрирование аэрокосмоснимков / Л.А. Богомолов. Москва: Недра. 1976 г., 145 с.
64. Большая Советская Энциклопедия. Том. 27. М.: Советская энциклопедия, 1977. С. 194.
65. Бондарик Г. К. Классификация инженерно-геологических прогнозов и перспективы развития методов прогнозирования // М. ВСЕГИНГЕО. 1972. Вып. 57. С. 5-18.
66. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика. М.: КДУ, 2007 440 с.
67. Бондарик Г. К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
68. Ботов, М.И. Основы теории радиолокационных систем и комплексов [Книга] / М.И. Ботов, В.А. Вяхирев. Красноярск: Сиб. федер. Ун-т, 2013. 530 с.
69. Буялов Н.И. Практическое руководство по структурной геологии и геологическому картированию [Книга] / Н.И. Буялов. Изд.: Гостлптехиздат, 1955. 254 с.
70. Валях, В.М. Аэрометоды при региональном инженерно-геологических исследованиях в аридных районах [Книга]. / В.М. Валях, Е.Г. Чаповский. Изд. М.: Недра. 1977. 158 с.

71. Валях, В.М. Ландшафтно-индикационные методы при региональных инженерно-геологических исследованиях [Книга]. / В.М. Валях, С.В. Викторов, Р.Н. Гельман, М.Т. Илюшина и др. Изд.: М. Недра, 1981. 203 с.

72. Валях, В.М. Аэрофотографические и сканерные аэрометоды при инженерно-геологических исследованиях [Книга]. / В.М. Валях. Изд.: М.: Недра, 1982. 261 с.

73. Востокова, Е.А. Использование аэрокосмических фотоснимков при гидрогеологических исследованиях в пустынях [Книга]. / Е.А. Востокова. Изд.: М.: Недра, 1980. 160 с.

74. Гальперов, Г.В. Аэрометоды геологического изучения районов двухъярусного строения (на примере тургайского прогиба) [Книга] / Г.В. Гальперов, А.В. Перцов, Н.А. Брусничкин. Л.: Недра, 1979 г. 111 с.

75. Гудилин, И.С. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях / И.С. Гудилин, И.С. Комаров. Учебное пособие. М., Недра 1978 г. 319 с.

76. 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. / Баборыкин М.Ю., Бурцев А.А., Жидиляева Е.В. М.: РусАльянс Сова, 2017. С 151-225.

77. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. Официальное издание. Евразийский совет по стандартизации по стандартизации, метрологии и сертификации. МНТКС, 2011. 63 с.

78. ГОСТ Р 22.1.06-99. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования.

79. Гук А.П. Фотограмметрическая обработка сканерных снимков [Книга]. / А.П. Гук. Изд.: Новосибирск: НИИГАиК, 1985. 82 с.

80. Дейвис Ш.М. Дистанционное зондирование. Количественный подход. [Книга]. / Ш.М. Дейвис, Д.А. Ландгребе, Д.С. Ланженлауб, Ле Р.Ф. Сиева, Ф.Х. Свейн, Т.Л. Филлипс, Р.М. Хоффер. Перевод с английского. М., Недра, 1983. 415 с.

81. Дешифрирование Многозональных аэрокосмических снимков. Методика и результаты [Книга] / Под редакцией Х. Каутцлебена, Р.З. Сагдеева, К.А. Салищева. Изд.: М.: Наука, 1982. 83 с.

82. Емельянова Е.И. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноз оползней [Книга] / Е.И. Емельянова. М.: Недра, 1971. 104 с.

83. Елюшкин В.Г. Фотограмметрическая обработка радиолокационных снимков [Книга] / В.Г. Елюшкин, Б.В. Пронин. Изд.: М.: Недра, 1993. 191 с.
84. Живичин, А.Н. Дешифрирование фотографических изображений [Книга] / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. М., Недра 1980г. 253 с.
85. Замятин А.В. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли [Книга] / А.В. Замятин, Н.Г. Марков. Изд.: Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 176 с.
86. Зверев А.Т. Инженерная геодинамика [Книга] / А.Т. Зверев. Москва: издательство МИИГАиК, 2013 г. 326 с.
87. Звонкова Т.В. Прикладная геоморфология [Книга] / Т.В. Звонкова. Москва: издательство «Высшая школа» 1970 г. 273 с.
88. Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований [Книга] / Г.С. Золотарев. М.: Изд-во МГУ, 1990. 384 с.
89. Иванов И.П. Инженерная геодинамика [Книга] / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. Изд.: Санкт-Петербург «Наука» 2001 г. 416 с.
90. Инженерно-геологические карты. [Электронный ресурс] Карты инженерно-геологического районирования Режим доступа: https://bookonlime.ru/lecture/glava-4-karty-inzhenerno-geologicheskogo-rayonirovaniya-prodolzhenie#_idTextAnchor004 (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз.рус.
91. Кизельватер, Д.С. Геоморфология и четвертичная геология [Книга] / Д.С. Кизельватер, Г.И. Раскатов, А.А. Рыжова. М.: Недра 1981. 215 с.
92. Кац, Я.Г. Возможности и пути определения геологической информативности космических изображений [Статья] / Я.Г. Кац, А.Г. Рябухин, И.И. Сонин, Д.М. Трофимов // Использование информации, получаемой из космоса, для решения региональных задач. Издательство МГУ, 1976. С. 77-90.
93. Кац, Я.Г. Основы линейной тектоники [Книга] / Я.Г. Кац, А.И. Полетаев, Э.Ф. Румянцева. М. Недра, 1986. 140 с.
94. Ким, В.Б. Слайновый подход к моделированию рельефа [Статья] / В.Б. Ким, Е.В. Прокопенко // «Вестник Кемеровского государственного университета» 2009 - №4 – с. 46-50.
95. Коллектив авторов под редакцией Сидоренко, А.В. Космическая информация в геологии [Книга] / Коллектив Авторы. Редакционная коллегия: А.В. Пейве, А.В. Сидоренко, А.Л. Яншин и др. М.: «Наука» 1983. 536 с.
96. Костенко, Н.И. Развитие складчатых и разрывных деформаций в орогенном рельефе [Книга] / Н.И. Костенко. Изд.: М.: Недра, 1972. 320 с.

97. Королёв, В.А. 2007. Мониторинг геологических, литотехнических и экологических систем. Учебное пособие [Книга] / А.В. Королёв. Изд.: М.: КДУ, 2007. 416 с.
98. Крылов, В.М. Дешифрирование аэроснимков. Учебное пособие [Книга] / В.М. Крылов. Изд.: М.: ВИА 1979. 41 с.
99. Лаврова, Н.П. Космическая фотосъемка [Книга] / Н.П. Лаврова. М, Недра, 1983. 288 с.
100. Лехатинов, А.М. Опыт аэровизуального инж - геол обследования Черноморского побережья [Статья] / А.М. Лехатинов, А. И. Шеко // СССР II Всесоюз совещание по методике, технике, результатам морских инж – геол и береговых исследований. Одесса, 1973. С. 119-120.
101. Макаров, В.И. Энергетика экзогенных геологических процессов [Статья] / В.И. Макаров, В.В. Кюнтцель, Ю.Н. Авсюк // Геоэкология. 1995. № 2. С. 3-26.
102. Маций, С.И. Управление оползневый риском [Книга] / С.И. Маций, Е.В. Безуглова. Монография Краснодар, 2010. СС. 177-184, 202-210.
103. Медведев, Е.М. Лазерная локация земли и леса [Книга] / Е.М. Медведев, И.М. Данилин, С.Р. Мельников. Учебное пособие. Изд.: М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН 2007. 230 с.
104. Методические рекомендации по использованию материалов космо- и аэрофотосъёмки в дорожных изысканиях. СССР МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ГЛАВТРАНСПРОЕКТ. Московский государственный ордена Трудового Красного Знамени проектно-изыскательский институт транспортного строительства МОСГИПРОТРАНС. МОСКВА 1988.
105. Методика изучения и прогноза экзогенных геологических процессов [Книга] / М-во геол. СССР, ВСЕГИНГЕО; под ред. А. И. Шеко, С. Е. Гречищева. М.: Недра, 1988. С. 216.
106. Миллер, В. Аэрофотогеология [Книга] / В. Миллер, К. Миллер. Перевод с английского Воеводы В.М. и Ильина А.В. Под редакцией и с предисловием Лунгерсгаузена Г.Ф. Москва: издательство «Мир» 1964 г. 292 с.
107. Михайлов, А.Е. Аэрометоды при геологических исследованиях [Книга] / А.Е. Михайлов, Н.С. Рамм. Москва: Недра 1975 г. 198 с.
108. Мохнач М.Ф. Геология. Книга 2. Геодинамика [Книга] / М.Ф. Мохнач, Т.И. Прокофьева. – СПб: РГГМУ, 2011. С. 250-252.
109. Мультиспектральная лазерная сканирующая система. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.jena.ru/catalog/18/468.html> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

110. Назаров, А.С. Фотограмметрия [Книга] / А.С. Назаров. Изд.: Мн.: ТетроСистемс, 2006. 368 с.
111. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы [Книга] / Н.И. Николаев Изд.: М.: Недра, 1988. 491 с.
112. Оползни и сели [Книга]. Том 1. Изд.: М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1984. 350 с.
113. Осипов В.И. Опасные экзогенные процессы [Книга] / В.И. Осипов, В.М. Кутепов и др. Изд.: Москва: ГЕОС, 1999. 271 с.
114. Отв. ред. Тимофеев, Д.А. Морфология рельефа [Книга] / Отв. ред. Д.А. Тимофеев, Г.Ф. Уфимцев. М.: Научный мир, 2004. 184 с.
115. Пиотровский, В.В. Геоморфология с основами геологии / В.В. Пиотровский. Издание 2. Москва: Недра, 1977 г. С. 56-61.
116. Петрусевич, М.Н. Геолого-съёмочные и поисковые работы на основе аэрометодов [Книга]. / М.И. Петрусевич. Издательство: М.: Научно-техническое издательство по геологии и охране недр, 1954. 108 с.
117. Петрусевич, М.Н. Воздушная и наземная стереофотосъёмка при геологических исследованиях [Книга] / М.Н. Петрусевич. Издательство МГУ, 1976. 276 с.
118. Петрусевич М.Н., Казик Л.И. Практическое руководство по аэрофотогеологии [Книга]. Издательство МГУ, 1977. 194 с.
119. Под редакцией Шустера Р. Оползни исследование и укрепление [Книга] / Под редакцией Р. Шустера и Р. Кризека, перевод с англ. А.А. Варги и Р.Р. Тизделя под ред. Г.С. Золотарёва. Изд.: Москва «Мир» 1981 г. С. 69-70.
120. Познанин, В.Л. Пространственная дифференциация геологической среды – основа единой системы экзогенных геологических процессов [Статья] / В.Л. Познанин // Планета Земля. 2012. № 3(9). С. 184-192.
121. Попов, И.В. Инженерная геология [Книга] / И.В. Попов. Изд.: Москва: МГУ, 1959. С. 512.
122. Ревзон, А.Л. Космическая фотосъёмка в транспортном строительстве [Книга] / А.Л. Ревзон. Изд.: М.: Транспорт, 1993 г. 272 с.
123. Ревзон, А.Л. Изучение экзогенных процессов в районах крупных водохранилищ аэроландшафтным методом [Книга]. / А.Л. Ревзон, А.В. Садов, Ф.Н. Чалидзе. М.: Недра, 1976. 48 с.
124. Ревзон, А.Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии [Книга]. / А.Л. Ревзон, А.В. Садов. Изд.: М.: Недра, 1979. 223 с.

125. Рис, У.Г. Основы дистанционного зондирования [Книга] / У.Г. Рис. Изд.: Москва: Техносфера, 2006 г. 336 с.
126. Рубахин, В.Ф. Психологические основы обработки первичной информации [Книга] / В.Ф. Рубахин. Изд.: Л.: Наука 1974. 296 с.
127. Рычагов, Г.И. Общая геоморфология [Книга] / Г.И. Рычагов. Изд.: Москва: Наука, 2006 г. 416 с.
128. Сергеев, Е.М. Инженерная геология / Е.М. Сергеев. Москва: Издательство Московского Университета, 1982 г. 248 с.
129. Симонов, Ю.Г. Инженерная геоморфология [Книга] / Ю.Г. Симонов, В.И. Кружалин. Изд.: Москва: МГУ, 1993 г. 208 с.
130. Спиридонов, А.И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования [Книга] / А.И. Спиридонов. Москва: Высшая школа, 1970г. 456 с.
131. СНиП II-A.13-69. Строительные нормы и правила. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Государственный Комитет Совета Министров СССР по делам строительства (Госстрой СССР). Издательство литературы по строительству Москва, 1970. 24 с.
132. СНиП II-9-78. Строительные нормы и правила. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Государственный Комитет Совета Министров СССР по делам строительства (Госстрой СССР). Издательство литературы по строительству Москва, СТРОЙИЗДАТ 1979. 24 с.
133. СНиП 1.02.07-87. Строительные нормы и правила. Инженерные изыскания для строительства. / Госстрой СССР, ГУГК СССР, - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. 104 с.
134. СНиП 11-02-96. Строительные нормы и правила. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Минстрой России, Москва 2005. 51 с.
135. Соловьёв В.А. Глобальная экология (экология геосфер земли) / В.А. Соловьёв, Л.П. Соловьёва. Краснодар: Изд-во КубГУ, 2005. С. 26, 310-314.
136. СП 47.13330.2012. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Минстрой России. Москва, 2013. 115 с.
137. СП 47.13330.2016. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Минстрой России. Москва, 2016. 160 с.

138. СП 11-104-97. Свод правил. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Госстрой России. Москва, 1997. 139 с.
139. СП 11-105-97. Свод правил. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Части I-VI. Госстрой России. Москва, 1997.
140. СП 317.1325800.2017. Свод правил. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. Минстрой России. Москва, 2017. 79 с.
141. СП 420.1325800.2018. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов. Общие требования. Минстрой России. Москва, 2018. 60 с.
142. СП 420.1325800.2018. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов. Общие требования. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. Москва, 2018. 60 с.
143. СП 115.13330.2016. Свод правил. Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. Москва, 2016. 49 с.
144. СП 116.13330.2012. Свод правил. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003. Министерство регионального развития Российской Федерации. Москва, 2012. 65 с.
145. Сутырина, Е.Н. Дистанционное зондирование Земли [Книга] / Е.Н. Сутырина. Изд-во: Иркутск: ИГУ, 2013. 165 с.
146. Толстых, Е.А. Методика измерения количественных параметров экзогенных геологических процессов [Книга] / Е.А. Толстых, А.А. Ключкин. Издательство: Москва: «Недра», 1984. С 5-6., 15-18.
147. Трофимов, А.М. Пространство-время в геоситуационной концепции [Статья] / А.М. Трофимов. Тезисы докладов научно-практической конференции Татарского филиала ГО СССР «Пространство и время в географии», сентябрь, 1987 г. С. 3-6.
148. Трофимов В. Т. Теоретические аспекты грунтоведения. М.: Изд-во МГУ, 2003. 114 с.
149. Турчанинов И. А., Иофис М. А., Каспарьян Э. В. Основы механики горных пород. Л.: Недра, 1989. 488 с.
150. ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ФОНД ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. [Электронный ресурс] ФГИС «АРШИН» Режим доступа: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/537022> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз.рус.

151. Федоренко В. С. Горные оползни и обвалы, их прогноз. М.: Изд-во МГУ, 1988. 213 с.
152. Чандра, А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы [Книга] / А.М. Чандра, С.К. Гош. Изд.: Москва: Техносфера, 2008 г. 312 с.
153. Шеко А. И., Лехатинов А. М., Максимов М. М. и др. Оценка интенсивности проявления экзогенных геологических процессов при инженерно-геологическом картировании // М. ВСЕГИНГЕО. 1971. Вып. 43. С. 89-95.
154. Шеко А. И. Закономерности формирования и прогноза селей. М.: Недра, 1980. 296 с.
155. Abellán, A. Active Optical Sensors (LASERS). In: review of Techniques for Landslide Detection, Fast Characterization, Rapid Mapping and Long-Term Monitoring [Book] / M. Jaboyedoff, C. Michoud, M.H. Derron, T. Oppikofer. Edited in 2010 by Michoud C., Abellán A., Derron M.H. and Jaboyedoff M. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.safelandfp7.eu> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.
156. Ackerman A. Using Geologic Maps to Reduce Landslide Risk [Article] / Abby Ackerman // Factsheet 2018-003, April 2018.
157. Baltsavias, E.P. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. Institute of Geodesy and Photogrammetry [Article] / E.P. Baltsavias // ETH-Hoenggerberg, CH-8093 Zurich, Switzerland Received 17 December 1998; accepted 6 April 1999.
158. Barbarella, M. Landslide monitoring using terrestrial laser scanner: Geo referencing and canopy filtering issues in a case study / M. Barbarella, M. Fiani. // International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. Volume XXXIX-B5, 2012. P. 157-162.
159. By Jose Diego Monroy. Remote sensing techniques make high-resolution terrain mapping easier and quicker [Article] / By Jose Diego Monroy, Shuhab Khan // Principles of Photogrammetry and LiDAR. September 1, 2018. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://csengineermag.com/principles-of-photogrammetry-and-lidar/> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.
160. Charles K. Toth. Landslide Hazard Detection From LiDAR Data [Article] / Charles K. Toth, Omar Ernesto Mora, M. Gabriela Lenzano, D.A. Grejner-Brzezinska // March 2013 with 226 Reads. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/287398017_Landslide_Hazard_Detection_From_LiDAR_Data (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.
161. Domènech G. Calculation of the rockwall recession rate of a limestone cliff, affected by rockfalls, using cosmogenic chlorine-36. Case study of the Montsec Range (Eastern Pyrenees,

Spain) [Article] / G. Domènech, J. Corominas, O. Mavrouli, S. Merchel, A. Abellán, S. Pavetich, G. Rugel, *Geomorphology*, 2018. PP.: 306, 325-335.

162. Doughton S. Laser map gave clue to Oso slide's ferocity [Article] / S. Doughton // June 2, 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.seattletimes.com/seattle-news/science/laser-map-gave-clue-to-oso-slides-ferocity/> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

163. Francesca Cigna. Observing Geohazards from Space [Article] / Francesca Cigna // *Geosciences*. Published: 8 February 2018. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2076-3263/8/2/59> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

164. Howell J. Geological outcrop modelling and interpretation using ground based hyperspectral and laser scanning data fusion [Article] / J. Howell, T.H. Kurz, S.J. Buckley, D. Schneider // January 2008 with 905 Reads. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/228652853_Geological_outcrop_modelling_and_interpretation_using_ground_based_hyperspectral_and_laser_scanning_data_fusion (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

165. Humair F. Vertical Geology: from remote sensing to 3D geological modelling [Book] / F. Humair, B. Matasci, M. Jaboyedoff, A. Abellan, D. Carrea, M.H. Derron, A. Guerin, C. Michoud, P. Nicolet, L. Nguyen, I. Penna, J. Voumard, M. Wyser. Proceedings of the first Vertical Geology conference, 5-7 February 2014, University of Lausanne, Switzerland, 254 p.

166. Jaboyedoff M. LiDAR Use for Mapping and Monitoring of Landslides. Natural hazards encyclopaedia. Taylor and Francis [Book] / M. Jaboyedoff, A. Abellan, Derron, M-H. Carrea, D. Michoud, C. Mattasci. 2016 – in press.

167. Janet Hoyt. Slope Stability Modeling and Landslide Hazard in Freshwater Creek and Ryan Slough Humboldt County, California [Book] / Janet Hoyt, OR William C. North Coast Regional Water Quality Control Board 5550 Skylane Boulevard Suite A Santa Rosa, CA 95403. July 2008. 301 p.

168. Joyce K. E. Mapping and monitoring geological hazards using optical, LiDAR, and synthetic aperture RADAR image data [Article] / K. E. Joyce, S. V. Samsonov, S. R. Levick, J. Engelbrecht, S. Belliss. // *Nat Hazards*. DOI 10.1007/s11069-014-1122-7. Published online: 18 March 2014. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/261070509> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

169. Karen Elizabeth Joyce. Mapping and monitoring geological hazards using optical, LiDAR, and synthetic aperture RADAR image data [Article] / Karen Elizabeth Joyce, S. V. Samsonov, Shaun R Levick, Jeanine Engelbrecht // *Natural Hazards* 73(2):1-27 September 2014

with 1,067 Reads. [Электронный ресурс]. Режим доступа https://www.researchgate.net/publication/261070509_Mapping_and_monitoring_geological_hazards_using_optical_LiDAR_and_synthetic_aperture_RADAR_image_data (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

170. King, F.H. Topographic models or relief-maps [Article] / F.H. King. Science, 1886 – Vol. 7 N° 157. P. 120-121.

171. Lambot, S. Analysis of air-launched ground-penetrating radar techniques to measure the soil surface water content [Article] / S. Lambot, Lutz Weihermüller, Johan Alexander Huisman, Evert C. Slob // Water Resources Research 42, November 2006 [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/46059620_Analysis_of_air-launched_ground-penetrating_radar_techniques_to_measure_the_soil_surface_water_content (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

172. Leica ALS70-CM City Mapping Airborne LIDAR Product Specifications / Leica Geosystems AG Heerbrugg, Switzerland. The electronic edition: 12 p. [Электронный ресурс] Режим доступа: [// www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com) (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

173. Meei-Ling Lin. Detecting Large-Scale Landslides Using Lidar Data and Aerial Photos in the Namasha-Liuoguey Area, Taiwan [Article] / Meei-Ling Lin, Te-Wei Chen, Ching-Wei Lin, Dia-Jie Ho, Keng-Ping Cheng, Hsiao-Yuan Yin and Mei-Chen Chen // Remote Sens. 2014, 6; doi:10.3390/rs6010042. P. 42-63.

174. Michoud C. Review of Techniques for Landslide Detection, Fast Characterization, Rapid Mapping and Long-Term Monitoring [Book] / C. Michoud, A. Abellán, M.H. Derron, M. Jaboyedoff. SafeLand European project, 322 pp.

175. Pennington, C. V. L. Landslide research at the British Geological Survey: capture, storage and interpretation on a national and site-specific scale [Article] / C. V. L. Pennington, C. Foster, J. E. Chambers, G. O. Jenkins // Volume 83, Issue 5, October 2009. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1755-6724.2009.00124.x> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

176. Rubini Mahalingam. Evaluation of landslide susceptibility mapping techniques using lidar-derived conditioning factors (Oregon case study) [Article] / Rubini Mahalingam, Michael J. Olsen & Matt S. O'Banion // [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2016.1172520> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. рус.

177. Syed Omar. Landslide Susceptibility Mapping Using LiDAR In Kundasang Area: A Review [Article] / Syed Omar, Zainab Mohamed, Khamarrul Azahari Razak // Conference Paper, March 2018. [Электронный ресурс] Режим доступа:

<https://www.researchgate.net/publication/324056936> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

178. SPH Engineering GPR drone integrated system. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geo-matching.com/uas-for-mapping-and-3d-modelling/gpr-drone-integrated-system> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

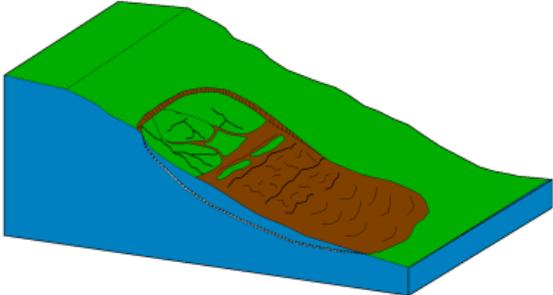
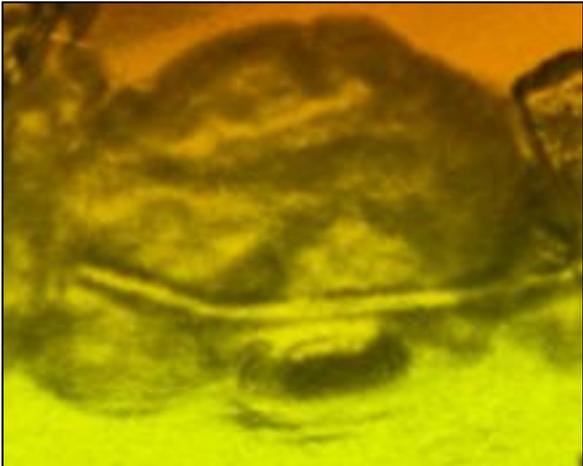
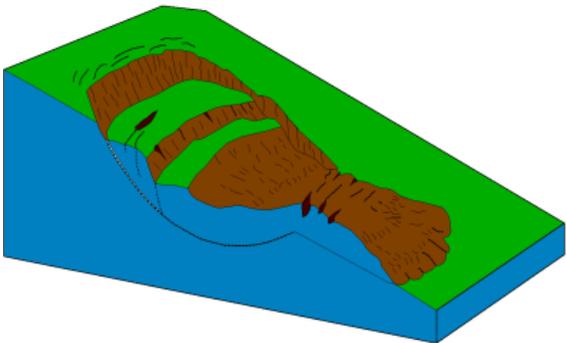
179. Tomás Fernández. Assessment of the Evolution of a Landslide Using Digital Photogrammetry and LiDAR Techniques in the Alpujarras Region (Granada, Southeastern Spain) [Article] / Tomás Fernández, José Luis Pérez, Carlos Colomo, Javier Cardenal, Jorge Delgado, José Antonio Palenzuela, Clemente Irigaray and José Chacón // Geosciences 2017, 7(2), 32 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2076-3263/7/2/32> (доступ свободный). Загл. с экрана – Яз. англ.

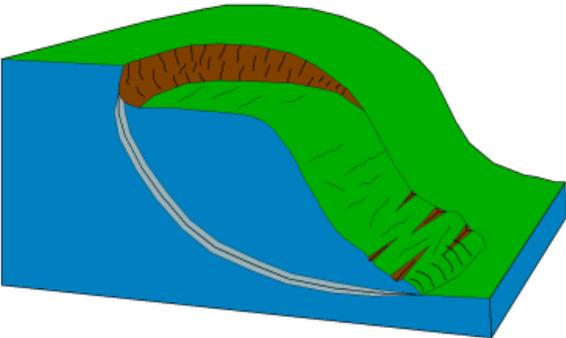
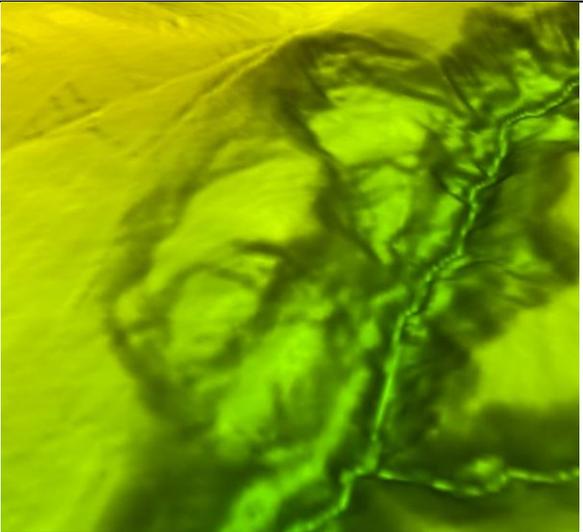
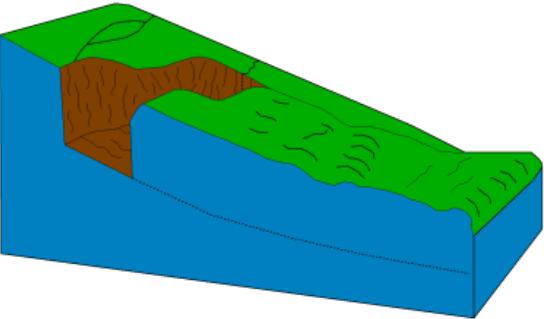
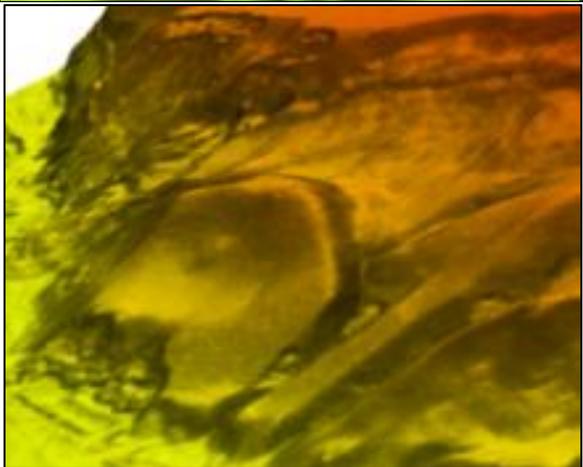
180. Weitao Chen, Xianju Li, Yanxin Wang, GangChen, Shengwei Liu. Forested landslide detection using LiDAR data and the random forest algorithm: A case study of the Three Gorges, China // Remote Sensing of Environment. Volume 152, September 2014, P. 291-301.

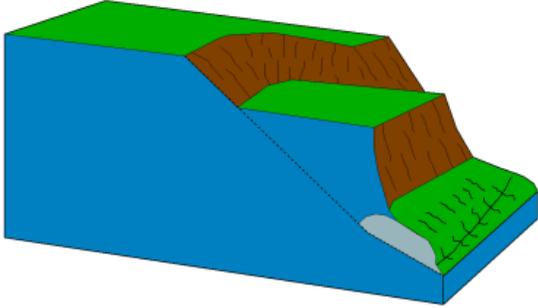
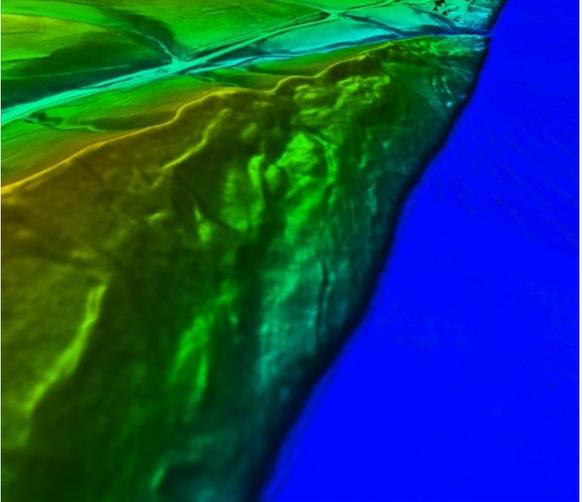
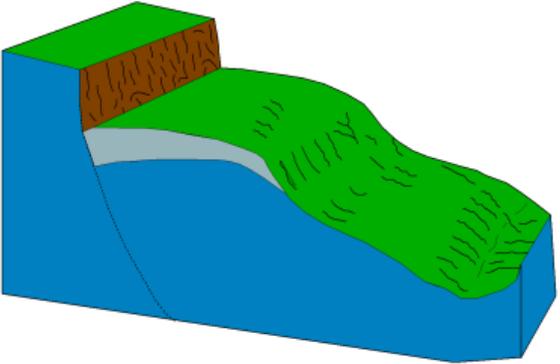
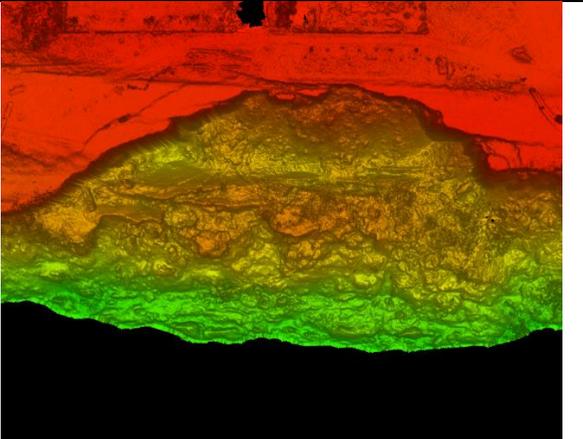
181. William C. Haneberg Ж William F. Cole Ж Gyimah Kasali. High-resolution lidar-based landslide hazard mapping and modeling, UCSF Parnassus Campus, San Francisco, USA [Article]. / William C. Haneberg Ж William F. Cole Ж Gyimah Kasali // Bull Eng Geol Environ (2009). DOI 10.1007/s10064-009-0204-3. PP. 263–276.

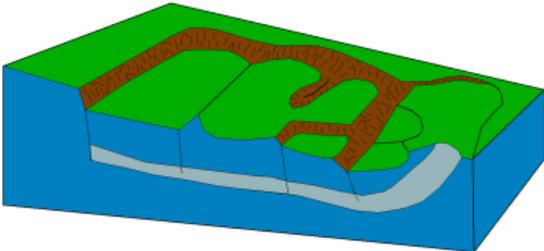
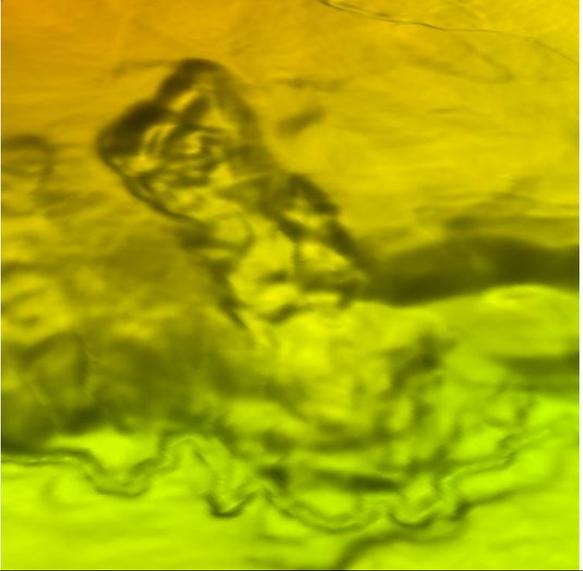
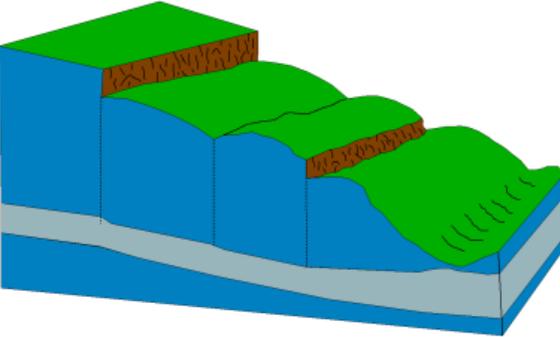
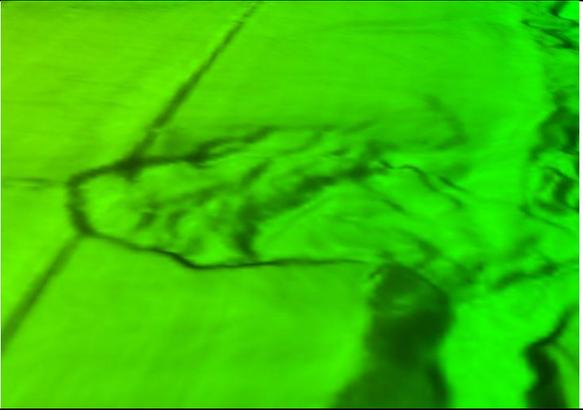
Приложение А

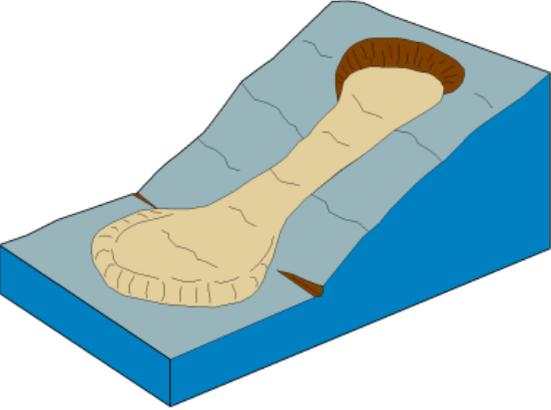
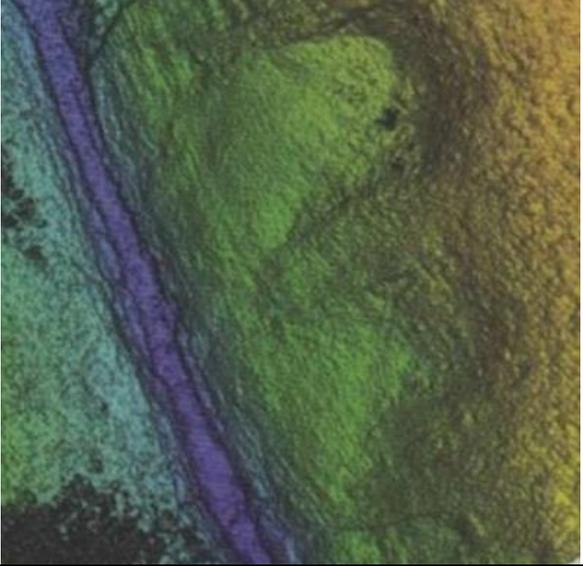
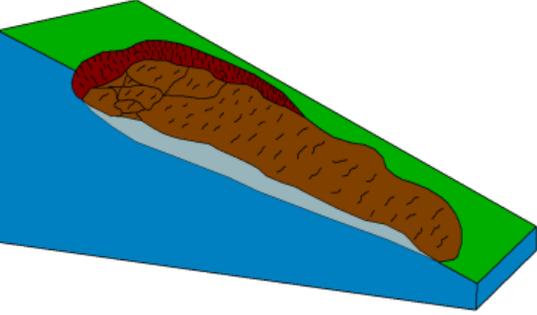
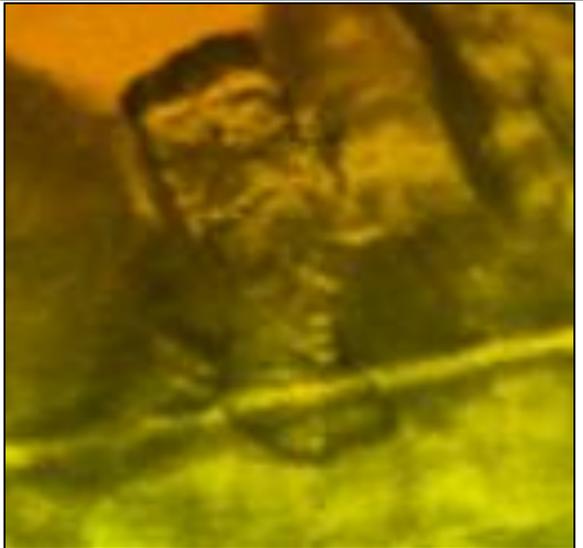
Основные типы эталонных моделей

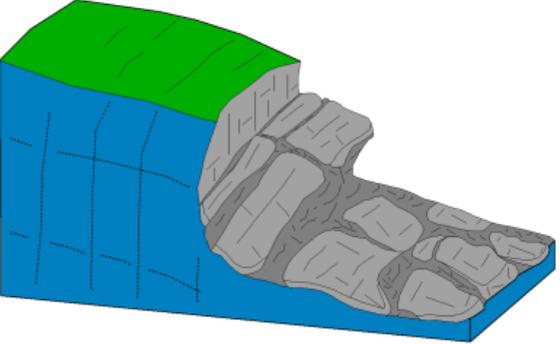
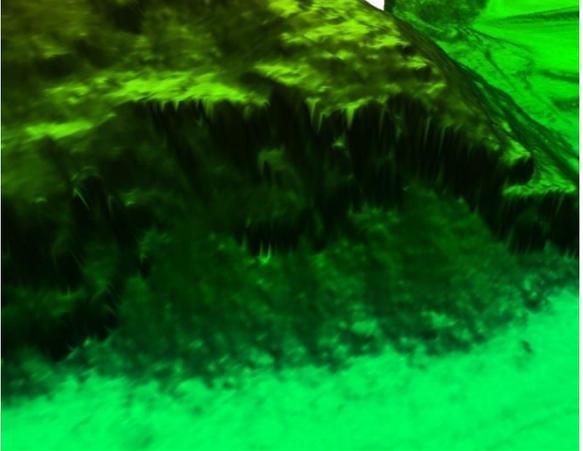
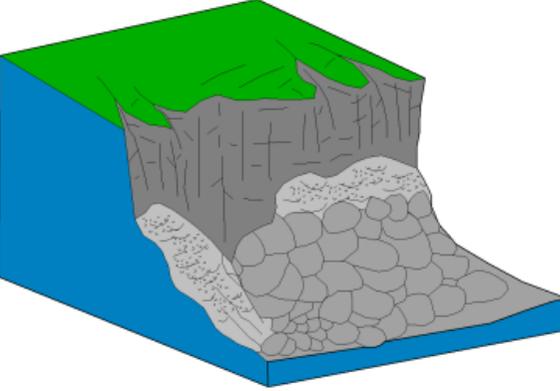
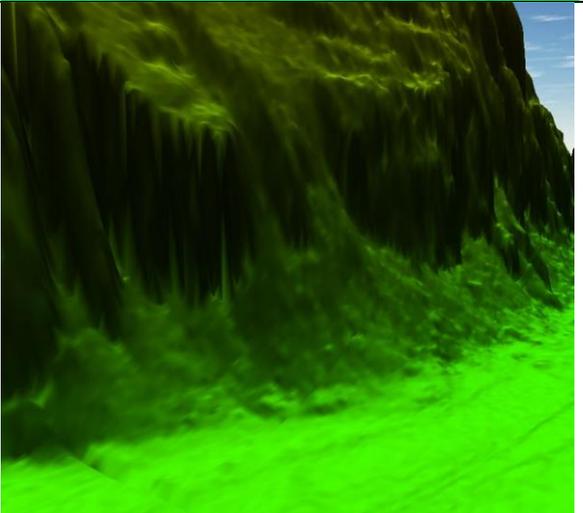
Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
Гравитационный	Оползни	Вращения		
Гравитационный	Оползни	Вращения		

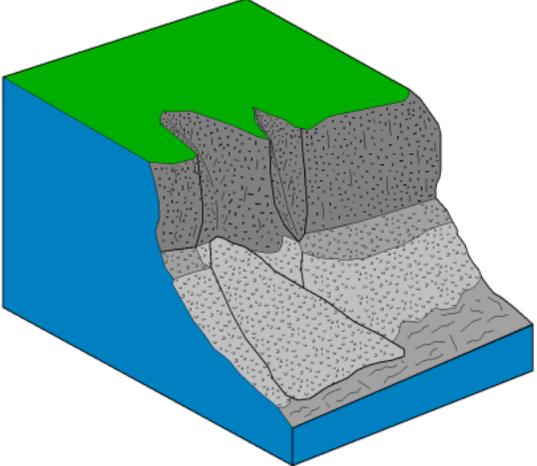
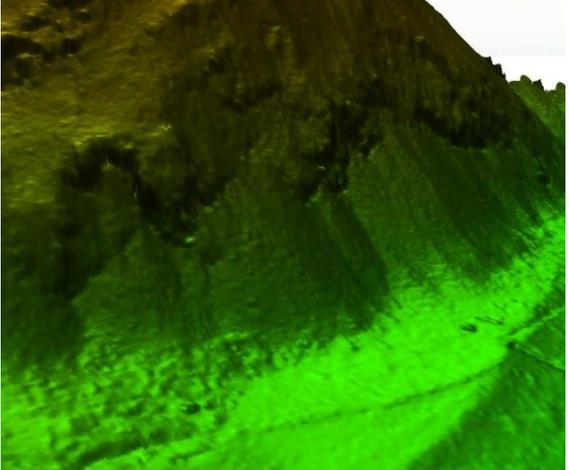
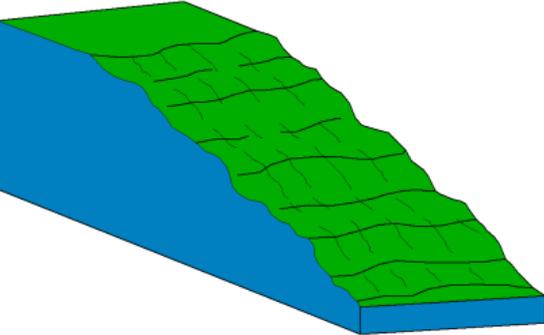
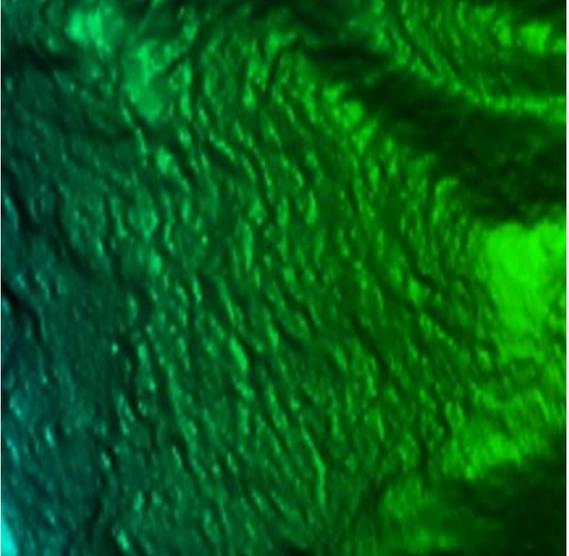
Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
				
Гравитационный	Оползни	Плоского смещения		

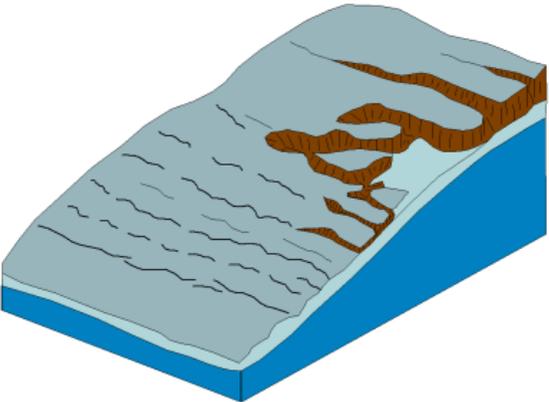
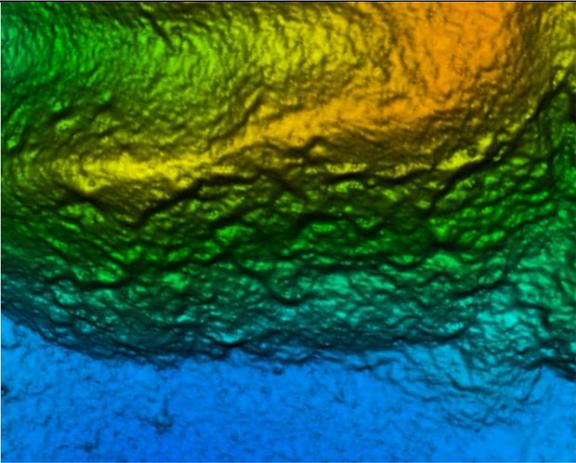
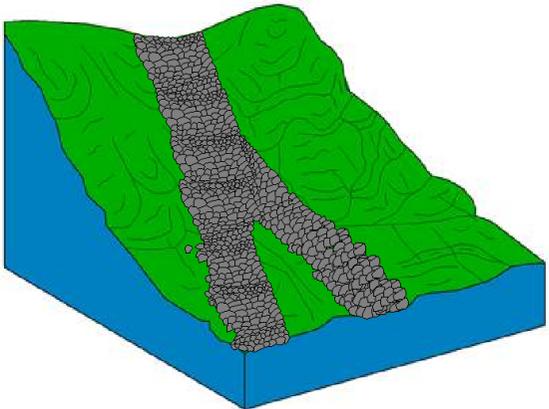
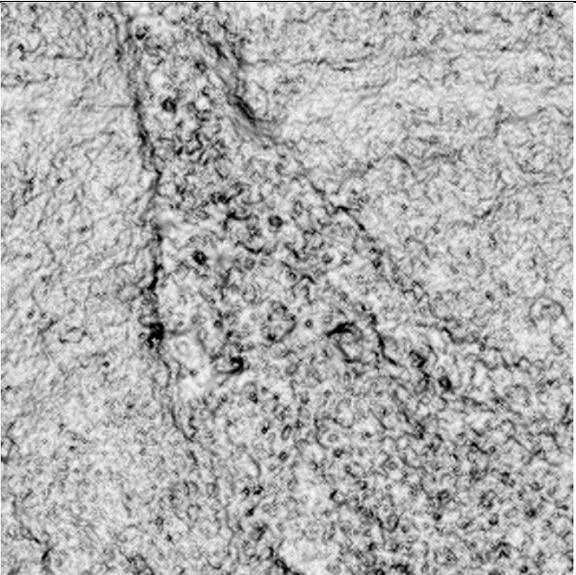
Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
		Сброса		
Гравитационный	Оползни	Выдавливания однородного сложения		

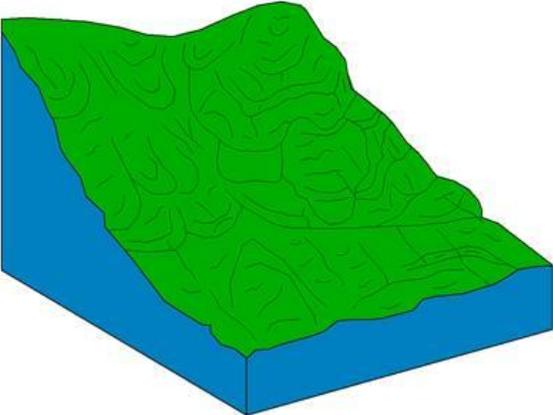
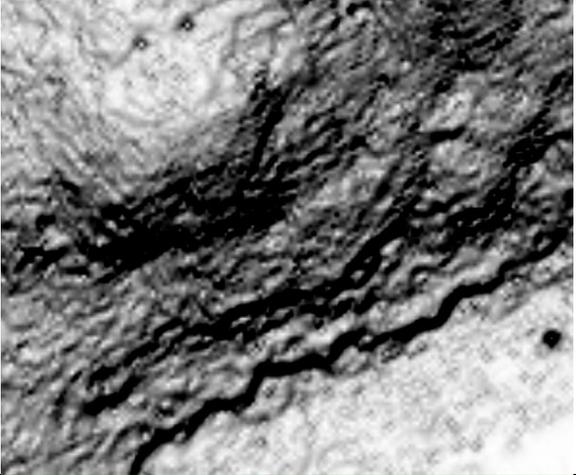
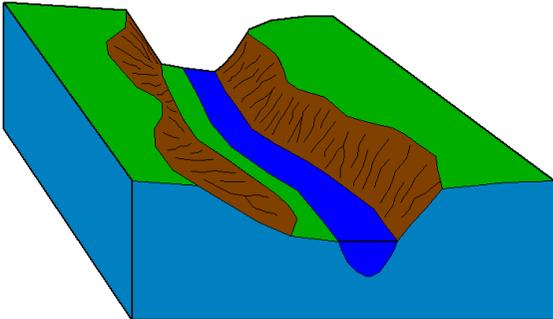
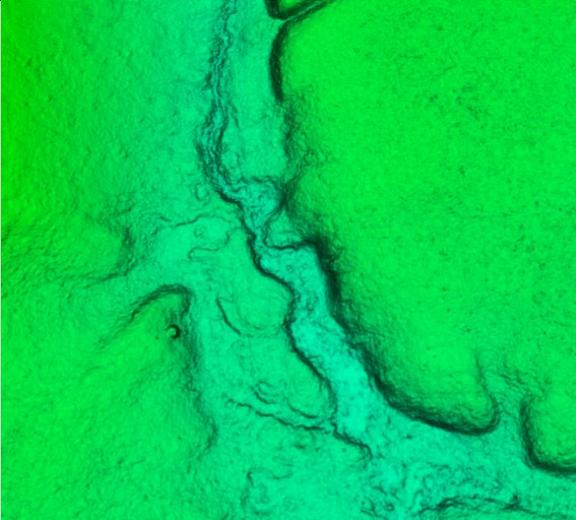
Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
		Разжижения		
Гравитационный	Оползни	Суффозионный, выплывания (блоковый)		

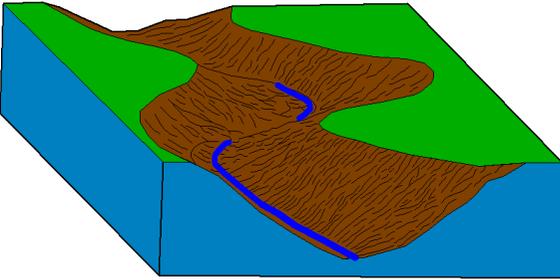
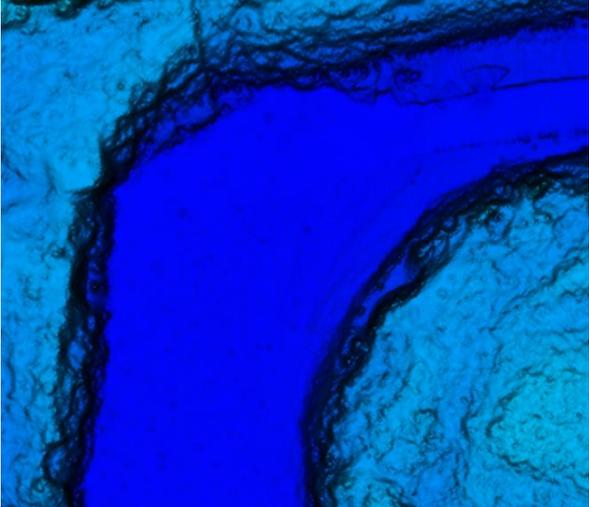
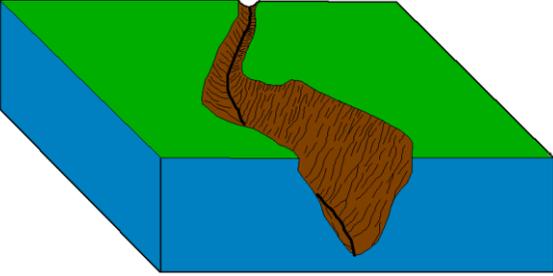
Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
		Суффозионный, вытекания		
Гравитационный	Оползни	Вязкопластический		

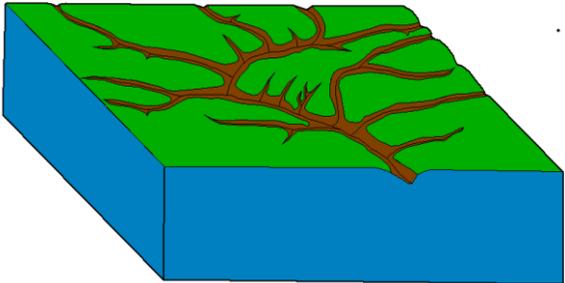
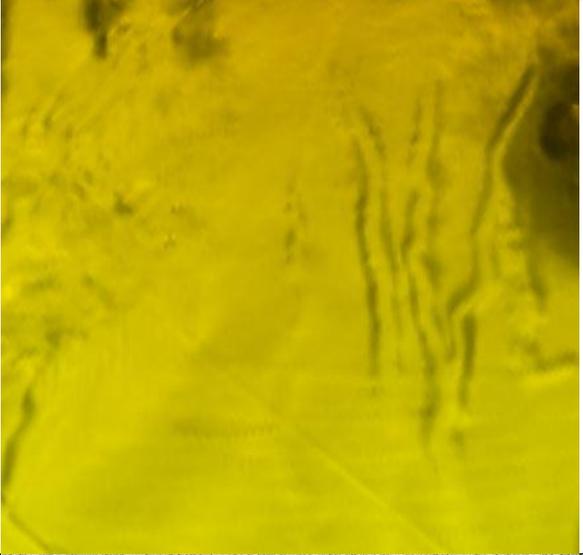
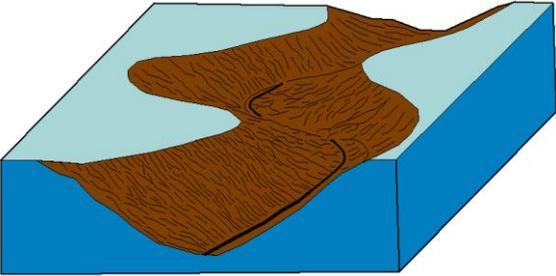
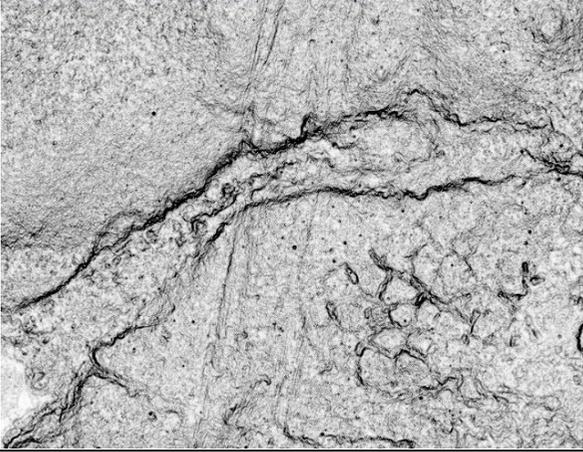
Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
	Обвалы	Валунно-глыбовые		
Гравитационный	Обвалы	Глыбово-щебнистые		

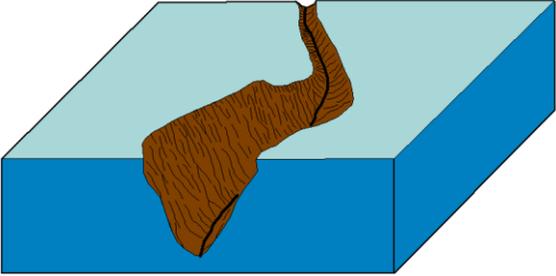
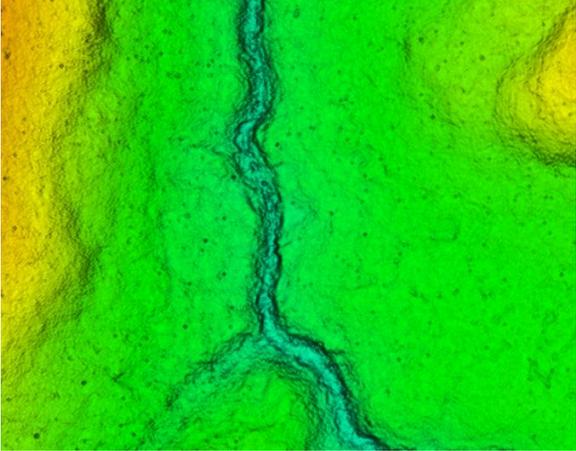
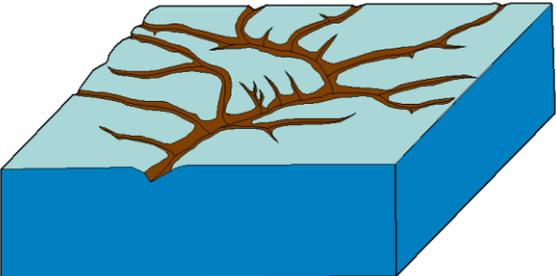
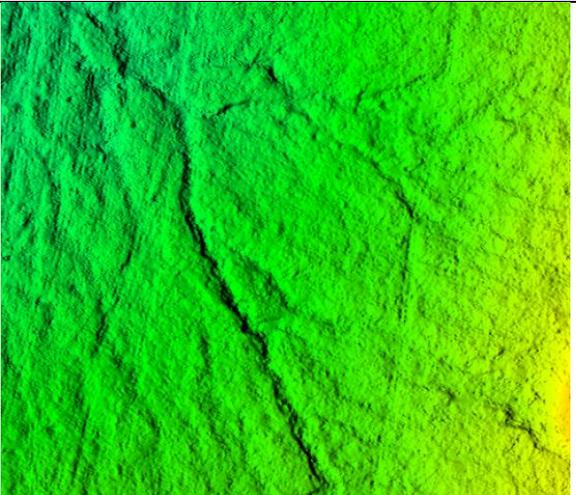
Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
	Осыпь	-		
Гравитационный	Крип	Под влиянием переувлажнения и высыхания		

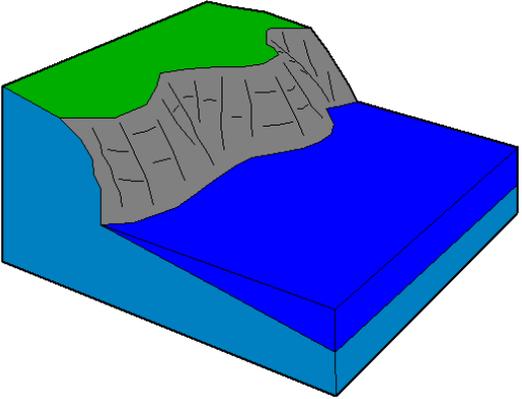
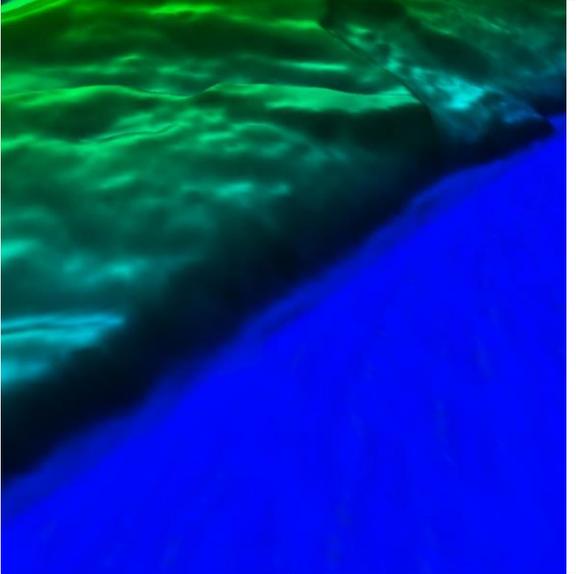
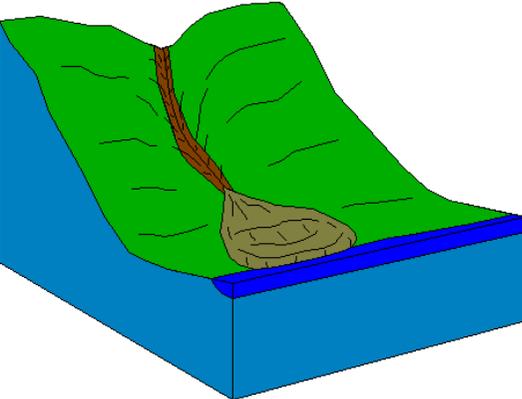
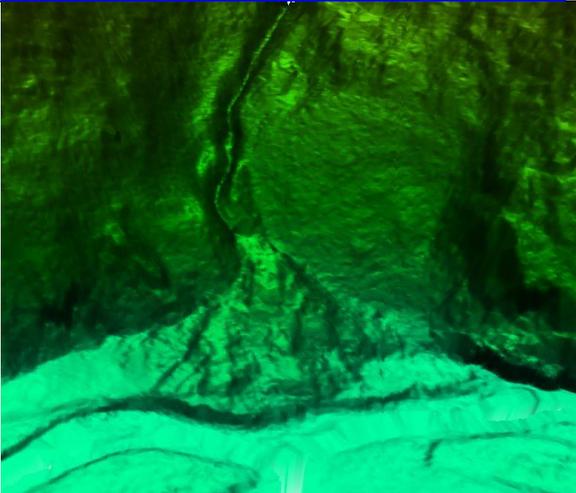
Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
		<p>Под влиянием промерзания и оттаивания</p>		
Гравитационный	Курумы	-		

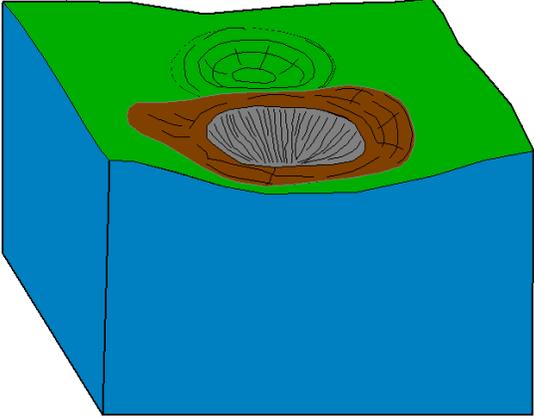
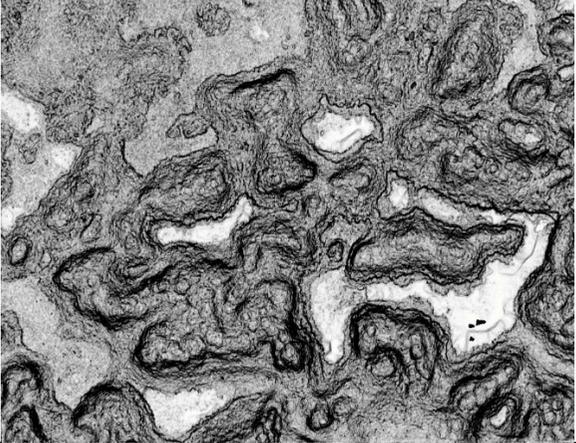
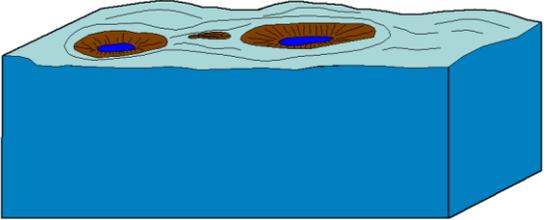
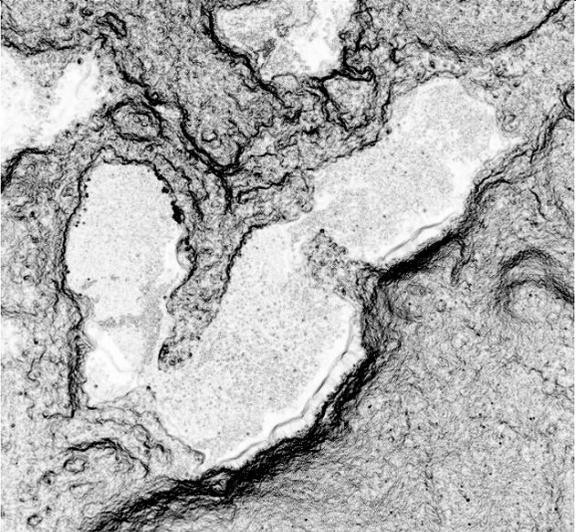
Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
	Солифлюкция	-		
Поверхностные воды	Эрозия	Донная постоянными водотоками		

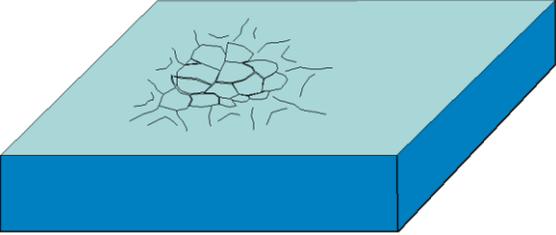
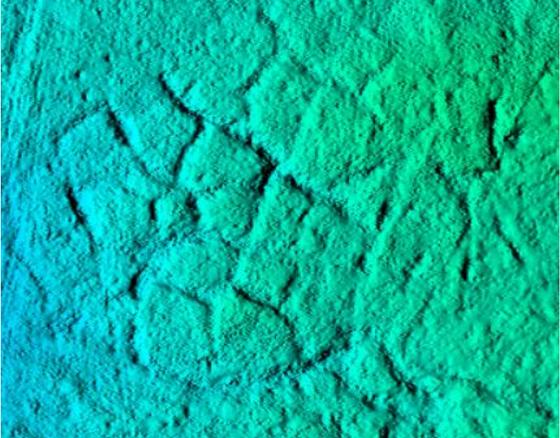
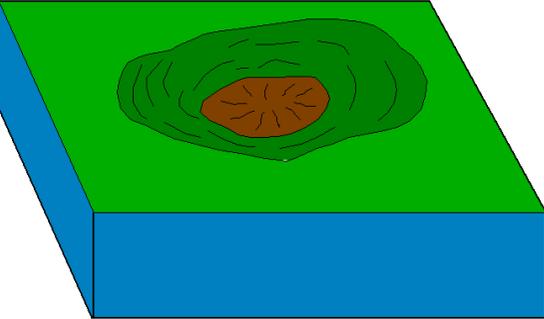
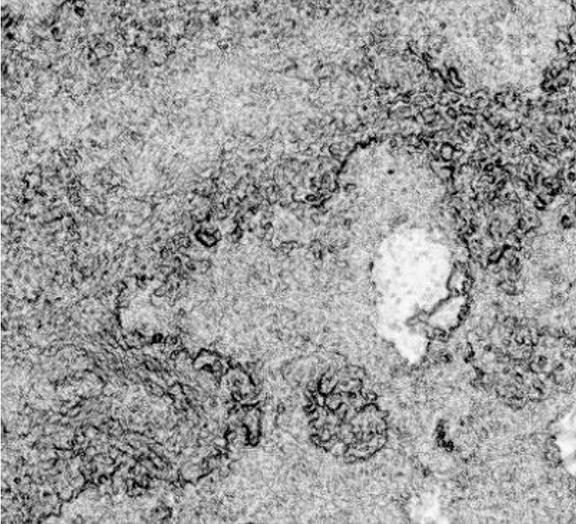
Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
		Боковая постоянными водотоками		
Поверхностные воды	Эрозия	Донная временными водотоками (овражная)		

Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
		Струйчатая		
Поверхностные воды	Термоэрозия*	Боковая		

Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
		Донная (овражная)		
Поверхностные воды	Термоэрозия*	Струйчатая		

Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
	Абразия			
Поверхностные воды	Водная аккумуляция	Конус выноса		

Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
Подземные и поверхностные воды	Карст	-		
Подземные и поверхностные воды	Термокарст*	-		

Класс	Вид	Подвид	Эталонная модель	Геоморфологический образ
1	2	3	4	5
	Полигонально-жильные льды*	-		
Подземные и поверхностные воды	Суффозия	-		

Приложение Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2655955

Способ дешифрирования экзогенных геологических процессов и инженерно-геологических условий

Патентообладатель: **Баборыкин Максим Юрьевич (RU)**

Автор: **Баборыкин Максим Юрьевич (RU)**

Заявка № 2017108881

Приоритет изобретения 16 марта 2017 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 30 мая 2018 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 16 марта 2037 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2655956

Способ проведения геотехнического мониторинга линейных сооружений и площадных объектов на основе воздушного лазерного сканирования

Патентообладатель: **Баборыкин Максим Юрьевич (RU)**

Автор: **Баборыкин Максим Юрьевич (RU)**

Заявка № 2017108882

Приоритет изобретения 16 марта 2017 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 30 мая 2018 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 16 марта 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



Приложение Г

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 173296

УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАНОВО-ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА

Патентообладатель: **Баборыкин Максим Юрьевич (RU)**

Автор: **Баборыкин Максим Юрьевич (RU)**

Заявка № **2017108820**

Приоритет полезной модели **16 марта 2017 г.**

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации **21 августа 2017 г.**

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает **16 марта 2027 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**



Приложение Д

DS-D-000094



Диплом

НАГРАЖДАЕТСЯ

Баборыкин Максим Юрьевич

Научный руководитель: Бурцев Алексей Алексеевич

Организация: Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова

за **1** место

в Международном интеллектуальном конкурсе студентов и аспирантов

"Discovery Science: University - 2016"

Ступень: аспирантура

Направление: Науки о Земле

Номинация: Практический проект

Форма: Презентация

Название проекта: Дешифрирование экзогенных геологических процессов по данным воздушного лазерного сканирования

25.04.2016

Россия, Москва



А.Н. Григорьев
директор по научным проектам
А.Н. Григорьев

Приложение Е



НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ON-LINE

№ UK-D-2026



Москва, 25.03.2017

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

Таборожкин Максим Сергеевич

Южно-Российский государственный политехнический университет

за **2** место

в Международном конкурсе студентов и аспирантов (в рамках требований ФГОС)

UNIVERSITY KNOWLEDGE - 2017

Степень: Аспирантура

Направление: Науки о Земле

Название конкурсной работы: Концепция проведения мониторинга опасных геологических процессов и явлений на основе воздушного лазерного сканирования

Научный руководитель: Бурцев Алексей Алексеевич

Номинация:

Профессионально-специализированные компетенции

Форма: Статья



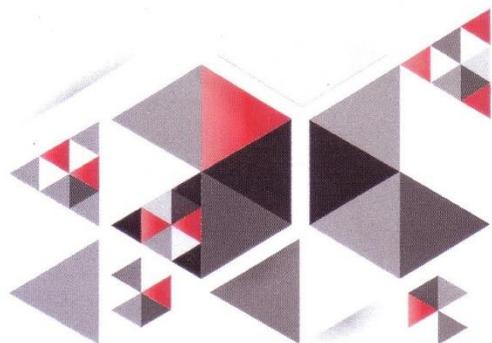
Международный центр
научно-исследовательских проектов

Директор по научным проектам



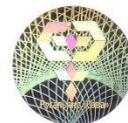
А.О. Романов
Романов А.О.

Приложение Ж



№ DS-D-2190

Москва, 15.05.2017



ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

Таборошкин Максим Сергеевич

Южно-Российского государственного политехнического университета имени М.И. Платова

за **1** место

в VI международном интеллектуальном конкурсе студентов, аспирантов, докторантов

DISCOVERY SCIENCE: UNIVERSITY - 2017

Степень: Аспирантура

Направление: Науки о Земле

Название конкурсной работы: Сходимость результатов дистанционного метода дешифрирования с полевым обследованием на линейном объекте. Оползневой участок

Научный руководитель: Бурцев Алексей Алексеевич

Номинация: Исследовательский проект

Форма: Презентация



РусАльянс
Сова
sowa-ru.com

Директор по научным проектам



Григорьев А.Н.

Приложение И



Приложение К

№DS-D19-024



РусАльянс Сова
sowa-ru.com

18.04.2019
Россия, Москва

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

Таборошкин Максим Юрьевич

Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова

за **1** место

в VIII Международном интеллектуальном конкурсе студентов, аспирантов, докторантов
DISCOVERY SCIENCE: UNIVERSITY - 2019

Степень обучения: Аспирантура, ординатура, адъюнктура

Номинация: Исследовательский проект

Направление конкурса: Науки о Земле

Форма: Статья

Название конкурсного проекта: Методологические подходы к дешифрированию на основе данных лазерного сканирования (Lidar), с применением сравнительного анализа с типизированными моделями физико-геологических процессов и явлений

Научный руководитель: Бурцев Алексей Алексеевич

Директор по научным проектам



Григорьев А.Н.

Приложение Л

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



Юр.адрес: 350063, г. Краснодар, ул. Фрунзе, 22/1
Почт.адрес: 350063, г. Краснодар, ул. Фрунзе, 22/1
ИНН 2310143130 КПП 230801001
ОГРН 1092310005985
ОКПО 64032977 ОКВЭД 74.20
р/с 40702810300000003379
Банк: Филиал «Южный» ПАО «УРАЛСИБ»
г. Краснодар
к/с 30101810400000000700
БИК 040349700
тел./факс (861) 201-14-03

от 24.09.2020 № 213/1

на _____ от _____

Акт

О внедрении материалов диссертационного исследования Баборыкина Максима Юрьевича в ООО «Аэрогеоматика»

Комиссия ООО «Аэрогеоматика» в составе генерального директора Мищенко Сергея Анатольевича, директора по производству Мищенко Юрия Анатольевича, директора по проектам Захаренко Сергея Николаевича составили настоящий акт в том, что метод проведения дешифрирования материалов воздушного лазерного сканирования для получения данных об опасных геологических процессах и инженерно-геологических условиях и метод проведения мониторинга на линейных и площадных объектах с применением оборудования для воздушного лазерного сканирования разработанные в рамках диссертации на тему: «Методика дешифрирования рельефа по результатам лазерной съемки для оценки опасных геологических процессов в горных районах Кавказа» внедрены в рабочий процесс компании, что позволило предоставлять на рынке услуги по картированию опасных геологических процессов и инженерно-геологических условий, а также проведение мониторинга протяженных объектов и больших площадей с меньшими временными затратами.

Генеральный директор _____
(подпись)

Директор по производству _____
(подпись)

Директор по проектам _____
(подпись)



С.А.Мищенко _____
(ИМО)

Ю.А.Мищенко _____
(ИМО)

С.Н.Захаренко _____
(ИМО)



Член СРО НП «Ассоциация Инженерные изыскания в строительстве».
Член НП «Гильдия градостроителей».



Приложение М

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ДАГЕСТАНКАДАСТРСЪЁМКА»

367026, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, д.15 «а»
Телефон: 8 (8722) 94-00-68 Факс: 8 (8722) 94-00-68
E-mail: dagkadastr@mail.ru ИНН/КПП: 0562066296/057201001

№ 451

«15» октября 2020 г.

Акт

О внедрении материалов диссертационного исследования

Баборькина Максима Юрьевича

на тему: « Методика дешифрирования рельефа по результатам лазерной съемки
для оценки опасных геологических процессов в горных районах Кавказа»

Комиссия ООО «ДАГЕСТАНКАДАСТРСЪЁМКА» в составе директора Хизриева Хизри Газимагомедовича, кадастрового инженера Алиханова Зелिमхана Магомедовича и кадастрового инженера Магомедхановой Зинфиры Алейдаровны, рассмотрела вопрос об использовании результатов диссертационной работы Баборькина Максима Юрьевича и установила следующее: разработанные в рамках диссертационного исследования методики внедрены в рабочий процесс и успешно используются специалистами компании при проведении работ по проведению мониторинга на линейных объектах инфраструктуры.

<u>Директор</u> (должность)		<u>Хизриев Х.Г.</u> (ФИО)
<u>Кадастровый инженер</u> (должность)	<u>З. Алиханов</u> (подпись)	<u>Алиханов З. А.</u> (ФИО)
<u>Кадастровый инженер</u> (должность)	<u>З. Алиханов</u> (подпись)	<u>Магомедханова З. А.</u> (ФИО)