

МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТАХ

БАБОРЫКИН М.Ю.

Руководитель группы мониторинга и геоинформационных систем ООО «Геопроектстрой»,

г. Краснодар

baborykin.my@injgeo.ru

Аннотация

В работе рассматриваются отдельные дистанционные методы съемки местности и их совокупность для контроля состояния линейных объектов большой протяженности. Использование рассматриваемой системы позволяет не только провести долгосрочный мониторинг опасных геологических процессов, но и вписаться в глобальную сеть мониторинга (инвентаризационного и долгосрочного)

Ключевые слова

Мониторинг опасных геологических процессов; воздушное лазерное сканирование; цифровая модель рельефа; модель временных изменений; лазерный скан; наземное лазерное сканирование; геоинформационная система; база данных

Объектом исследования при выполнении данной работы являлась геологическая среда, которая в дальнейшем будет взаимодействовать с антропогенными объектами. При этом решались следующие задачи: выявление на территории проектируемого трубопровода опасных геологических процессов; прогнозирование изменений геологической среды во время строительства; проведение наблюдений за геодинамикой на основе воздушного лазерного сканирования по всему изучаемому линейному участку, длина которого составила 70 км (инвентаризационного мониторинга) и традиционного геодезического мониторинга выделенных оползней (долгосрочного мониторинга).

В связи с поставленными задачами проводились камеральные работы по дистанционному выделению опасных геологических процессов с полевой заверкой по эталонным участкам. Была смонтирована летающая лаборатория с необходимым оборудованием: воздушный лазерный сканер, высокоточный гиперспектрометр и фотокамера для аэрофотоснимков.

Изучение линейного объекта с точки зрения опасных геологических процессов началось в 2009 году с создания комплекта следующих тематических карт: новейших тектонических структур с главнейшими активными тектоническими нарушениями (масштаба 1:2500 000); структурно-геоморфологической (1:200 000); инженерно-геологических условий (1:200 000); гидрогеологического районирования (1:200 000); инженерно-геологического районирования (1:200 000). Данный материал был представлен на 6-й Общероссийской конференции изыскательских организаций в 2010 году.

Дальнейшие работы по лазерному сканированию, проводившемуся в геодезических целях, навели на мысль о повторном использовании лазерных сканов с высоким разрешением для инженерно-геологического изучения территории. Был предложен метод создания опережающих карт опасных геологических процессов масштабов 1:5000 и 1:1000, что значительно облегчило труд проектировщиков, а также позволило обойти в проекте трассирования участки со сложной инженерно-геологической обстановкой до начала полевых работ. Полевые исследования подтвердили информативность опережающих карт. Достаточно высокое подтвержденное качество исполнения лазерной съемки позволило использовать цифровые модели рельефа для долгосрочного мониторинга опасных геологических процессов.

При проведении инженерно-геодезических изысканий на линейных объектах в первоначальном варианте получают BIN-файлы. Из них выстраивается модель рельефа (рис. 1, 2).



Рис. 1. Модель рельефа

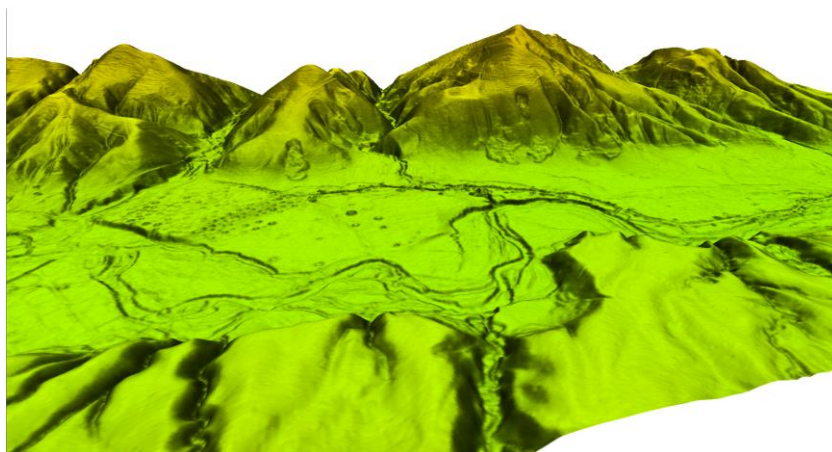


Рис. 2. 3D модель рельефа

Лазерная съемка выполнялась с высоты 500 м над уровнем моря, что соответствует требованиям, предъявляемым к стадии «рабочая документация». На основе данной модели производится комплекс следующих мероприятий: построение горизонталей для топографических планов и оценка местности в инженерно-геологическом плане (определение уклонов и выявление опасных геологических процессов) (рис. 3–5).

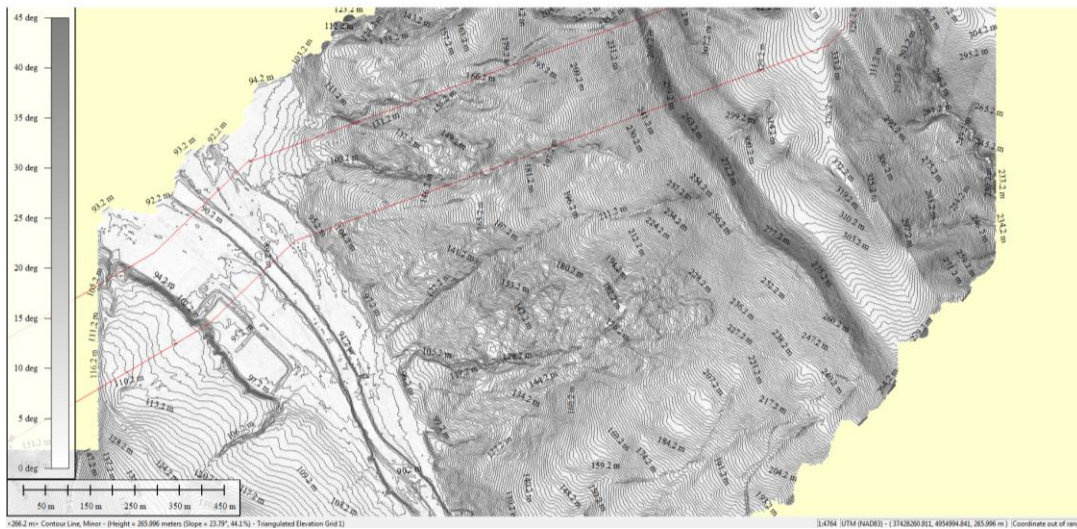


Рис. 3. Рельеф исследуемой территории с шейдерами уклонов

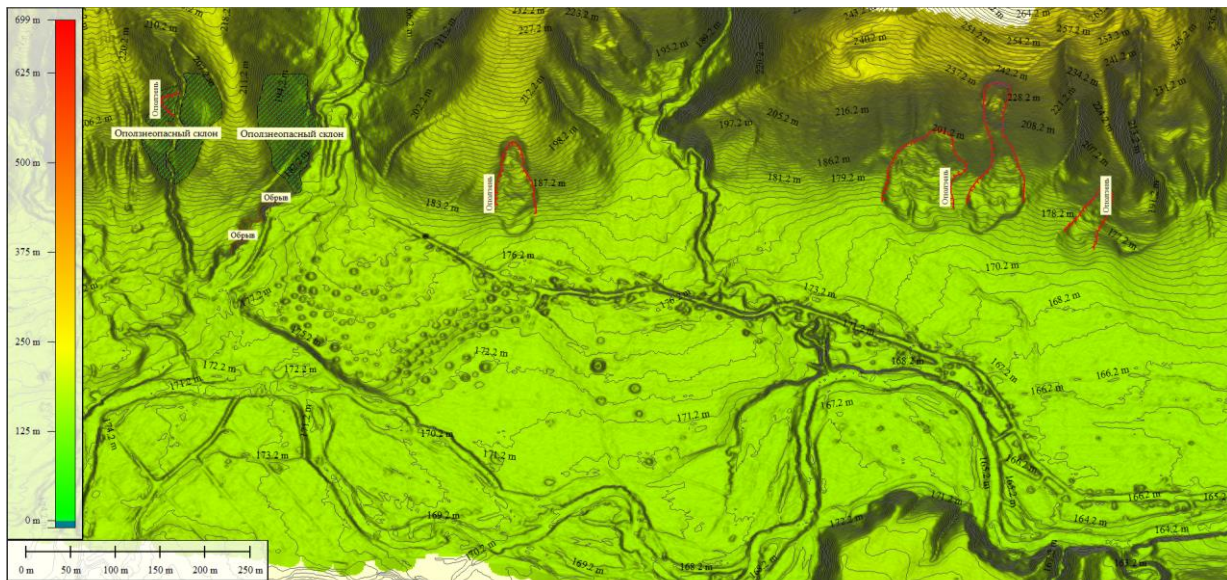


Рис. 4. Выделение оползней для составления базы данных в геоинформационной системе

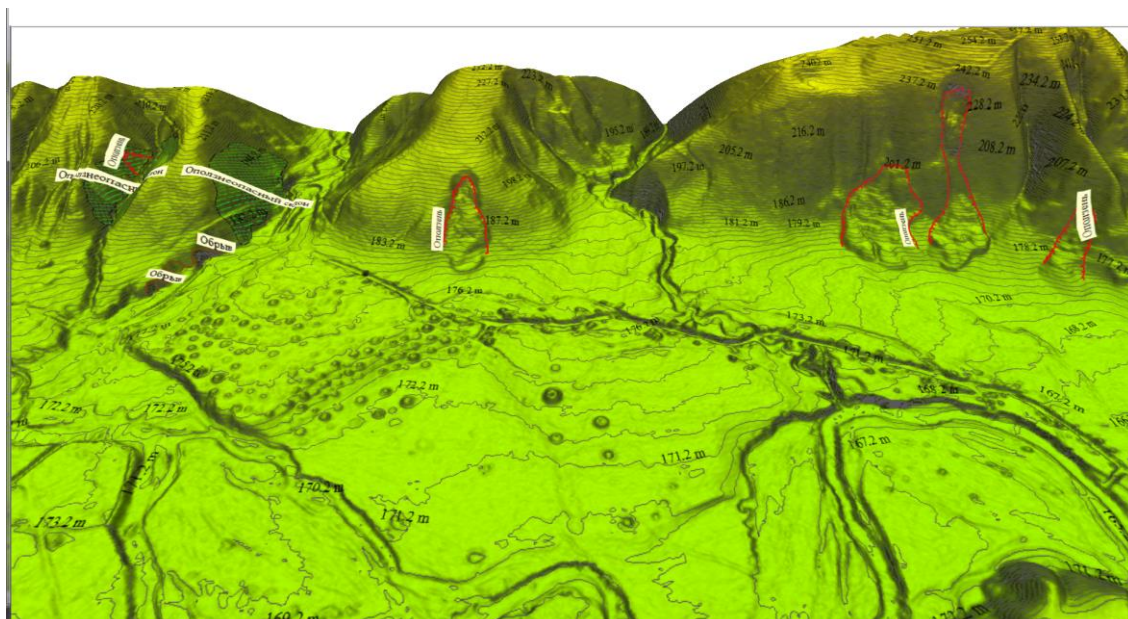


Рис. 5. 3D модель участков с выделенными оползнями

В дальнейшем используются только выделенные участки оползневых и оползнеопасных склонов в пределах коридора проектируемого трубопровода. Подготовленные материалы собираются в геоинформационной системе в готовые модели. Производится последующая съемка по циклам в условиях, приближенных к первоначальным (в отношении времени года, погодных условий, высоты полета во время съемки, используемого оборудования - точно такого же или с такими же техническими параметрами). После проведения этой съемки, которая используется для мониторинга, выстраивается модель местности и уравнивается относительно нулевой точки по контрольным (опорным) пунктам. Для минимизации погрешностей последующие модели уравниваются относительно нулевого цикла. Погрешность летного лазерного сканера при высоте съемки 500 м не превышает 6 см. Мелкие подвижки (в пределах миллиметров и первых сантиметров) не видны при сравнении моделей. Учитывая технические характеристики оборудования, на моделях динамики рельефа строятся горизонтали изменений сечением 0,1 м. Это позволяет «вписаться» в 6-сантиметровую погрешность, а также учесть шумы, которые появляются при съемке крутонаклонных поверхностей.

После проведения программного сравнения цифровых моделей рельефа и построения модели динамики производится анализ синтезированной модели. Положительные и отрицательные изменения в рельефе показывают, насколько изменилась местность во времени. Данная синтезированная модель имеет определенную специфику. Ее использование с цифровой моделью невозможно по ряду причин: она имеет собственные высоты; при «подгрузке» модели местности 3D модель отображается либо как синтезированная, либо как цифровая. Для отображения динамики строятся изолинии динамики, которые накладываются на цифровую модель местности, не только отображая визуальную картину изменений рельефа, но и давая количественную оценку.

К примеру, система мониторинга, использовавшаяся на объекте «Южный поток», сочетала в себе классический геодезический и долгосрочный мониторинг (который фактически начался задолго до полевых инструментальных наблюдений). В качестве нулевого цикла в долгосрочном мониторинге была принята цифровая модель рельефа, построенная по материалам лазерного сканирования в марте 2010 года (рис. 6, 7).

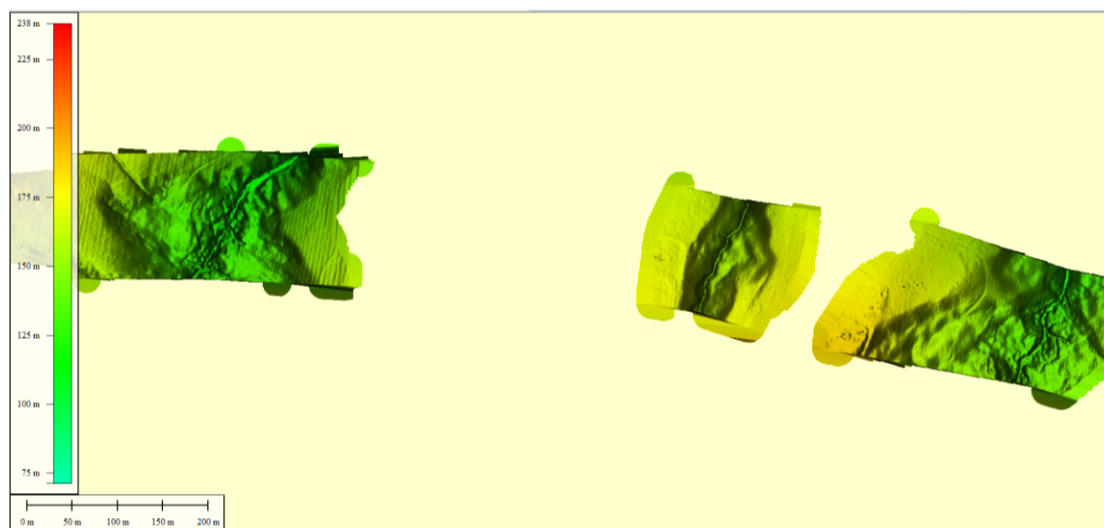


Рис. 6. Изучаемые участки в пределах трассы трубопровода

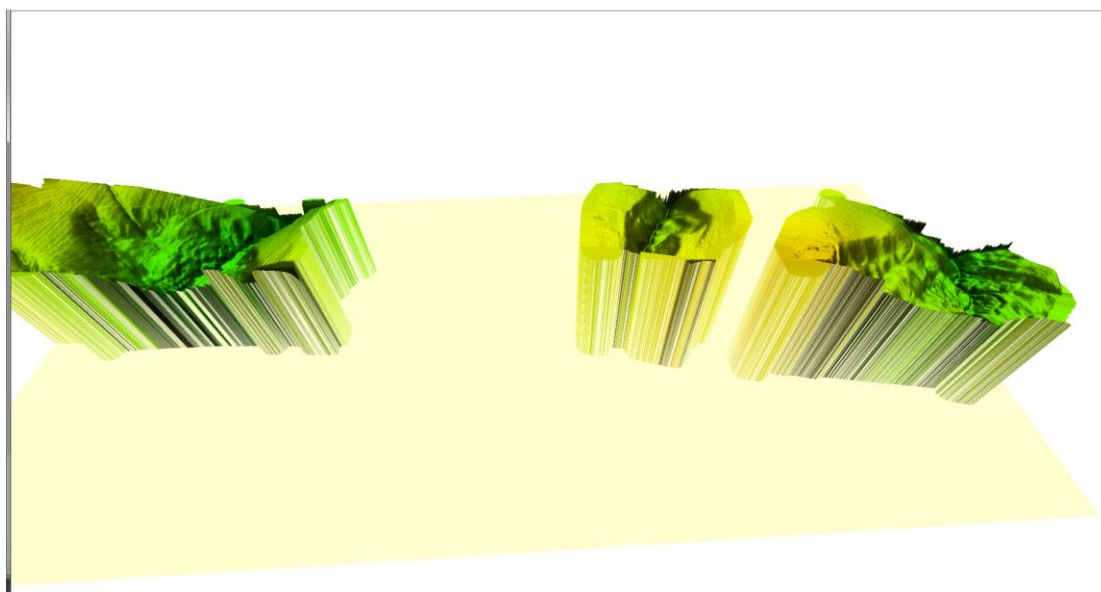


Рис. 7. 3D модель изучаемых участков

Для следующего цикла в 2012 году произвели лазерное сканирование с максимально схожими условиями. Наложение моделей при визуальной обработке выявляло изменения в рельефе за двухгодичный период (рис. 8).

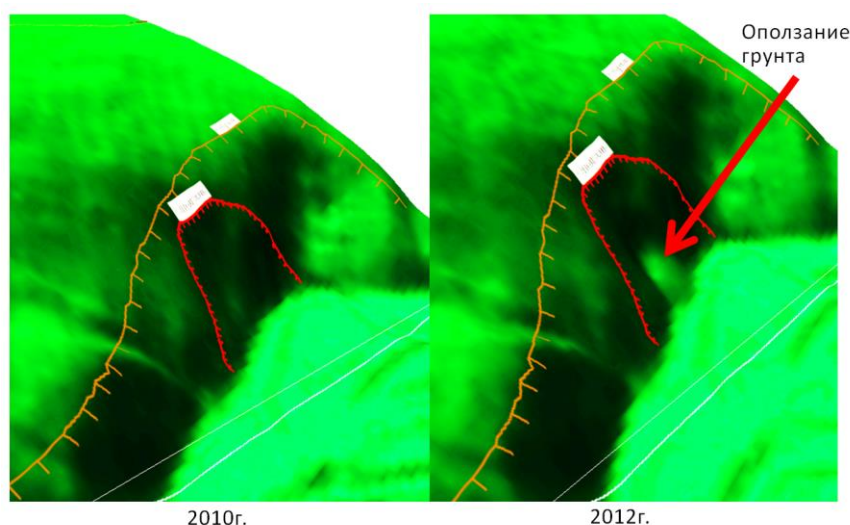


Рис. 8. Динамика склоновых процессов

По данным визуального сравнительного анализа нет возможности произвести измерения изменений в рельефе. Оператор при обработке большого количества материала может потерять или не заметить некоторое количество этих изменений. Также возрастают трудозатраты. К примеру, в советские годы, проводя сравнительный анализ по материалам аэрофотосъемки, требовалось большое количество человеко-часов, дополнительного обеспечения специфическими канцелярскими принадлежностями и пр. Сейчас в век развитых технологий подобный анализ происходит на персональных компьютерах, подключенных к локальной или глобальной сетям, с использованием специализированных программных продуктов. В нашем случае использование специальной программы также позволяет уйти от визуальной обработки материалов. При помощи вычислительных мощностей аппаратных средств достаточно быстро производится сравнение

цифровых моделей 2010 и 2012 годов. Итогом их программного анализа стала синтезированная модель изменения рельефа (рис. 9, 10).

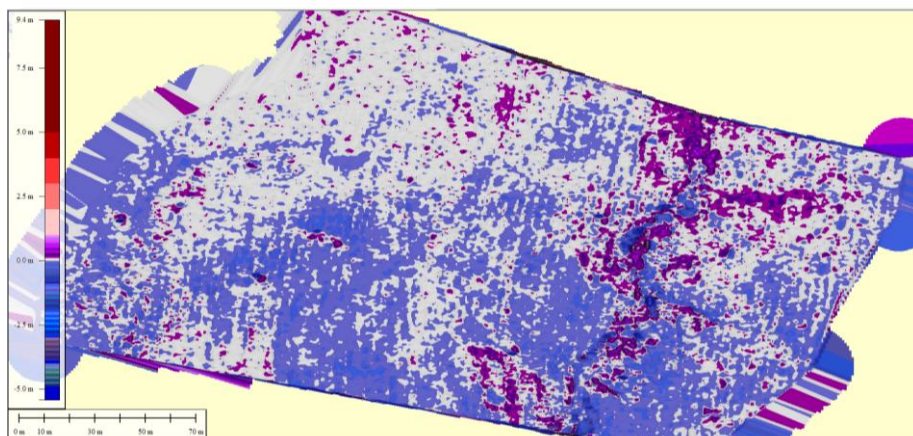


Рис. 9. Модель динамики рельефа

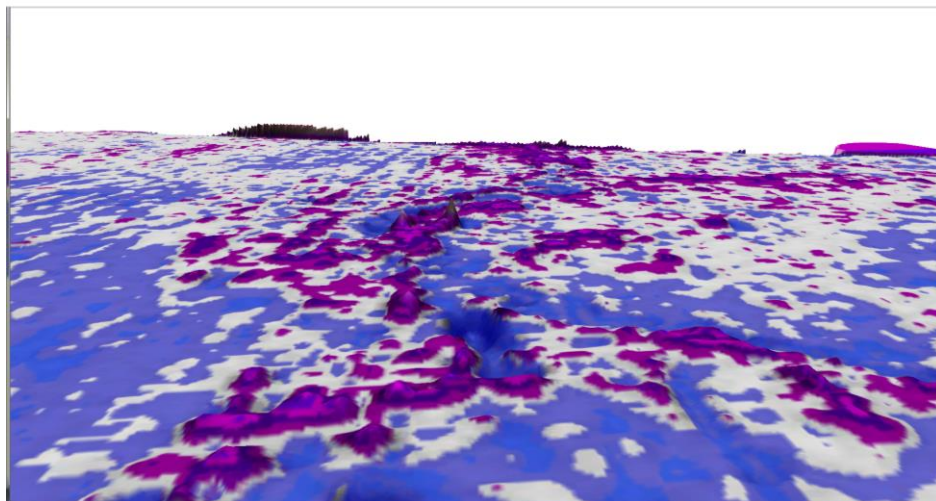


Рис. 10. 3D модель динамики рельефа

Дальнейшая обработка заключается в построении изолиний изменений рельефа. Сечение изолиний задается исходя из погрешности съемки. К примеру, эмпирическим путем выявлена фактическая погрешность с учетом шума около 10 см. Проведенное сопоставление результатов инструментальной съемки на оползневых участках и воздушного лазерного сканирования выявил расхождение моделей рельефа в пространстве в пределах 6-9 см.

Построенные изолинии изменений наносятся на цифровую модель рельефа любого цикла мониторинга (рис. 11, 12).

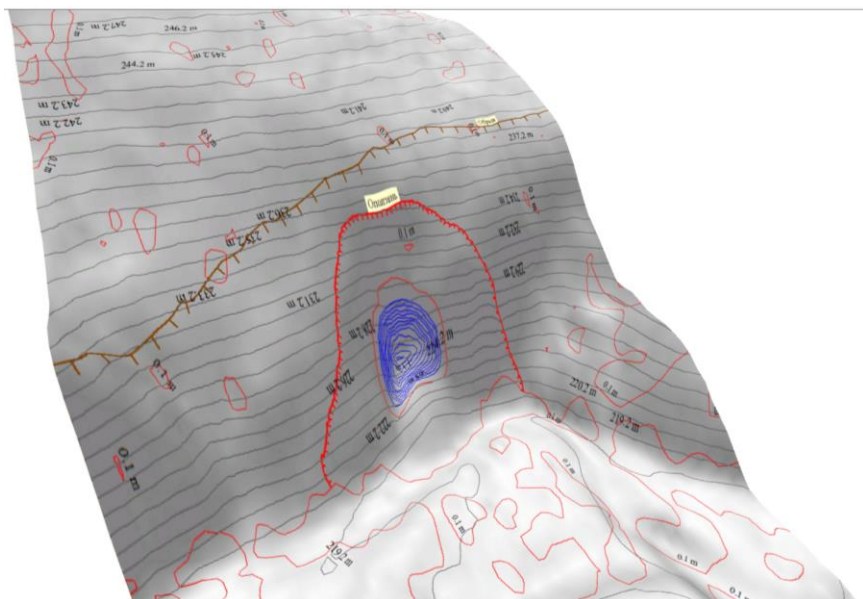


Рис. 11. 3D модель динамики оползневого склона

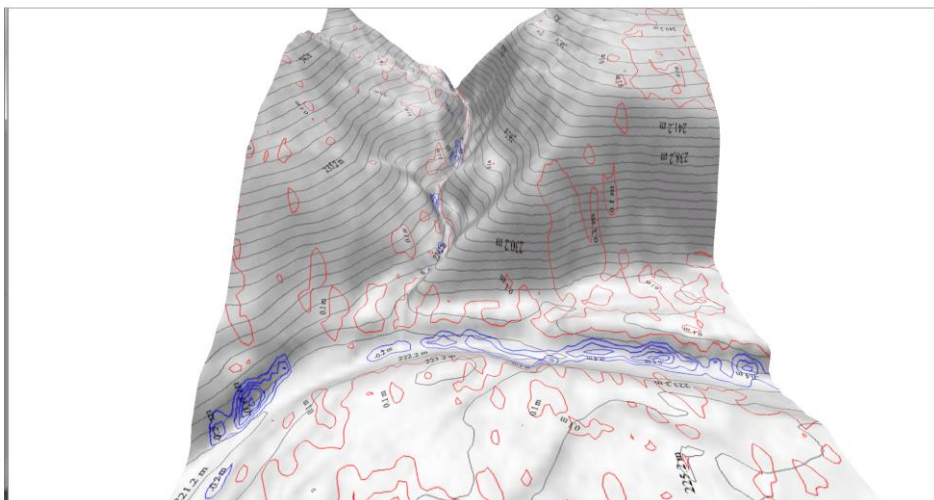


Рис. 12. 3D модель динамики эрозионных врезов

Для увеличения информативности результатов исследования инженерной геоморфологии и инженерно-геологических процессов, а в дальнейшем и данных мониторинга для одной из крупных нефтяных компаний в целях эксперимента была апробирована летающая лаборатория. В этот комплекс вошло следующее оборудование: воздушный лазерный сканер Leica ALS70; камера для аэрофотосъемки Leica; гиперспектрометр CASI 1500. Летающая лаборатория позволила выявить геологические процессы с меньшими временными затратами. Отработанный подход к дешифрированию лазерных сканов, классификация точек и построение цифровой модели рельефа (рис. 13, 14) выявили ряд геологических процессов, таких как солифлюкция и оползнеобразование. Дешифрованные границы солифлюкции протягиваются вдоль эрозионного вреза постоянного водотока. Также видны оползни на правом борту реки (рис. 15).

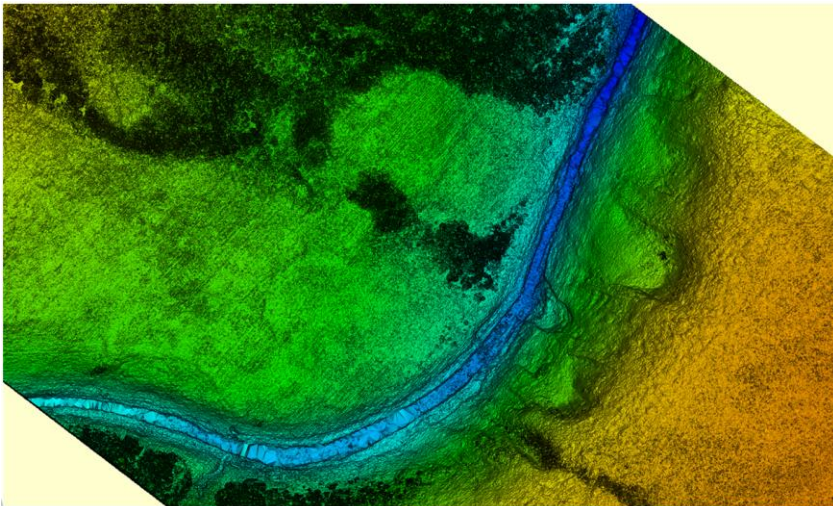


Рис. 13. Цифровая модель рельефа с растительностью

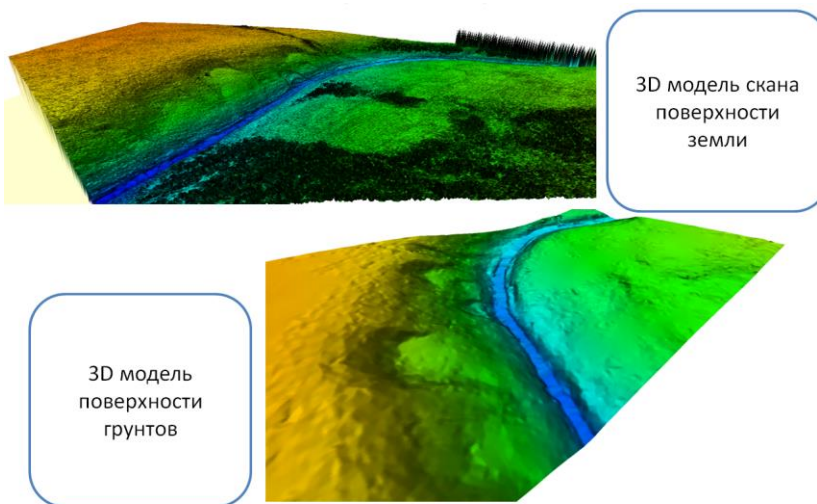


Рис. 14. 3D модель рельефа с растительностью и модель поверхности грунтов

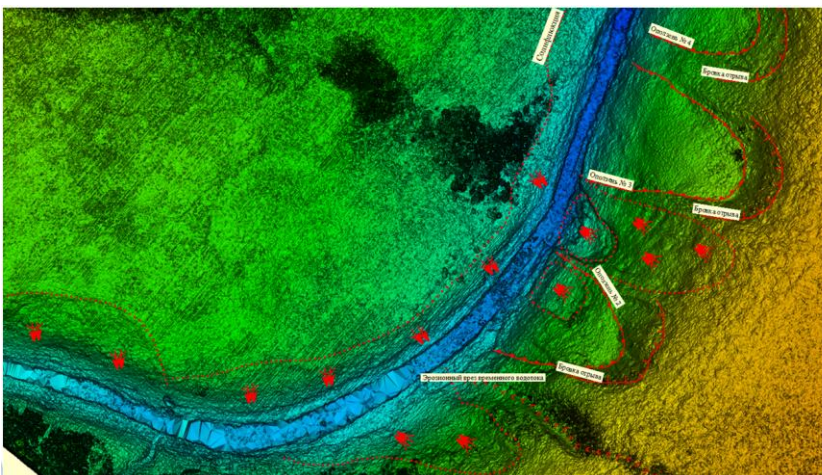


Рис. 15. Результаты дешифрирования

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. К примеру, в случае,

представленном на рис. 16, зона солифлюкционных процессов оказалась больше по площади, чем при дешифрировании только цифровой модели. 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.

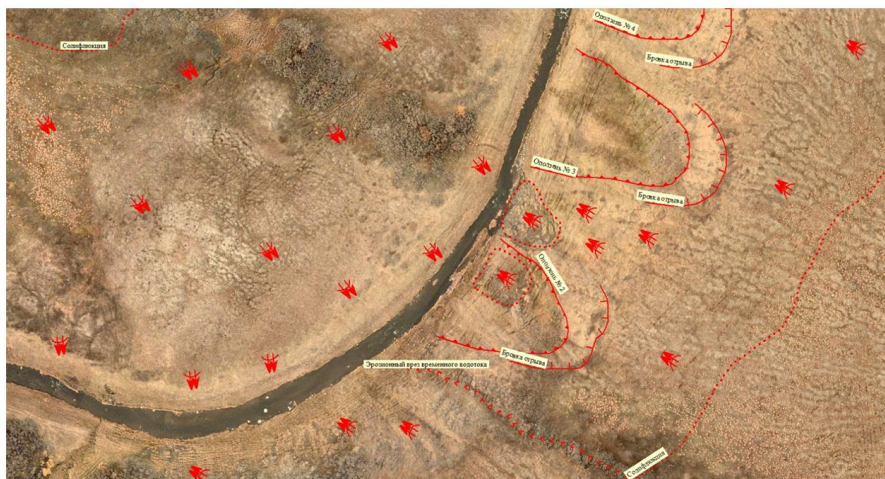


Рис. 16. Результаты дешифрирования аэрофотоснимка, «подгруженного» к цифровой модели рельефа

Во многих случаях синтезированные модели, отображая динамику рельефа, не объясняют причины изменений. Повышение информативности на ранних стадиях мониторинга призвана обеспечить гиперспектральная съемка. Данный вид съемки позволяет оператору достаточно быстро выделить зоны с какими-либо геологическими процессами по интенсивности отражений или поглощений некоторых зон спектра естественного электромагнитного излучения (солнечного света). При определенных сочетаниях каналов спектральной съемки или обработке в выбранном диапазоне гиперспектральной съемки дешифрируются незаметные и малозаметные для глаза индикаторы (рис. 17).



Рис. 17. Результаты обработки спектрального снимка

В итоге после осуществления комплексного подхода выходные данные включают геоинформационную базу данных, реестр опасных геологических процессов и материал для

нулевого цикла. Последующие циклы мониторинга добавляются в базу данных геоинформационной системы, упрощая доступ к информации.

Рассмотренная система мониторинга имеет как достоинства, так и недостатки. Она имеет следующие преимущества: дает возможность мониторинга объектов большой площади и протяженности; уменьшает временные затраты на проведение съемки; увеличивает информативность. Недостатки данной системы мониторинга таковы: высокая погрешность - около 6-9 см при высоте съемки 500 м (хотя это подходит для долгосрочного мониторинга); зависимость от погодных условий.

Следует отметить, что мониторинг дистанционными методами, проводимый на линейном объекте «Южный поток», показал свою ценность. Обработанные материалы выявили как активные, так и потенциально опасные зоны в пределах трассы проектируемого трубопровода. Сопоставление данных дистанционных методов с сетью деформационных знаков инструментальных наблюдений выявило некоторые расхождения в точности описанных методик, показав преимущество лазерного сканирования по сравнению с классическим геодезическим наблюдением, заключающееся в большей информативности получаемого материала, несмотря на большую погрешность относительно геодезического метода (первые сантиметры - при лазерном сканировании, первые миллиметры - при инструментальном геодезическом методе).

Появилась необходимость в повышении точности и информативности лазерного сканера. Таким решением стало использование наземного лазерного сканера. Опыт его применения в 2006 году головным офисом ЗАО «НИПИ «ИнжГео»» показал, что информативность и точность можно увеличить путем наземной лазерной съемки с контролем геодезической съемки по разреженной сети деформационных знаков. Современные наземные лазерные сканеры позволяют проводить съемку и обработку данных значительно быстрее, чем предшествующие. Проведенные экспериментальные работы при разных погодных условиях выявили ряд особенностей сканирования местности таким способом. К примеру, точность положения точек в пространстве при съемке до ста метров находится в пределах 2 мм, а далее происходит резкий скачок в точности до 5-6 мм. По мере увеличения рабочего расстояния растет погрешность позиционирования точки в пространстве.

Описанные выше данные, полученные эмпирическим путем, были подтверждены в практической работе «Экспериментальная оценка точности измерений лазерного сканера Leica ScanStation C10» Сибирской государственной геодезической академии (г. Новосибирск), представленной на Международной пользовательской конференции по лазерному сканированию 19-20 марта 2013 года.

Исходя из наработанного опыта и проведенных сторонними научными институтами экспериментальных работ было решено включить в систему мониторинга наземное лазерное сканирование (рис. 18). Повышение информативности съемки оползневых и оползнеопасных склонов выявило ранее незаметные изменения в рельефе. Подтвердилась активность оползней, ранее считавшихся временно стабилизированными.

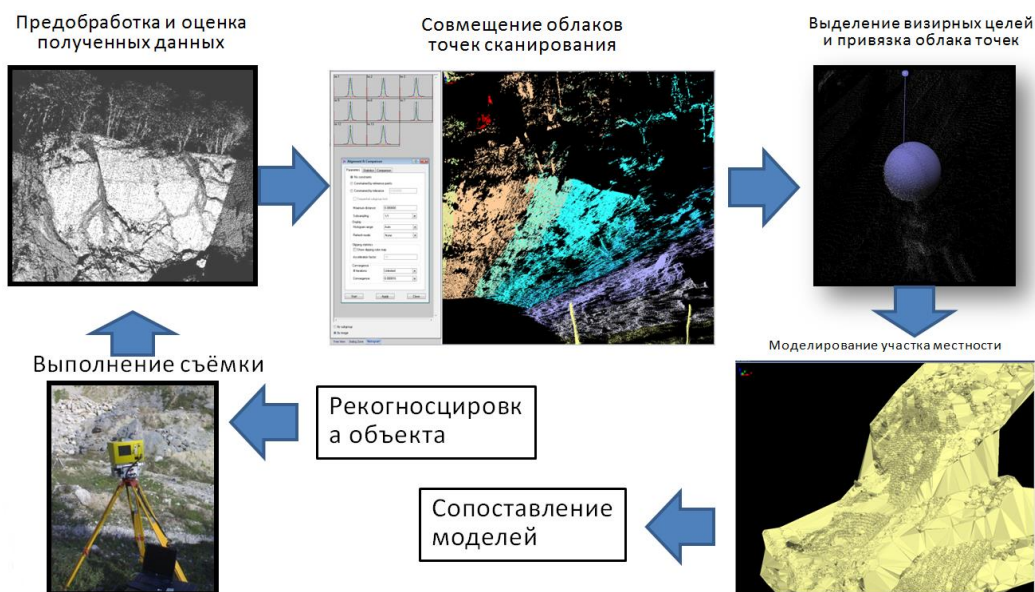


Рис. 18. Концептуальная схема проведения съёмки для мониторинга склонов

В некоторых случаях деформационные знаки фиксировали неравномерные смещения по склонам. Лазерное сканирование, повышая информативность, привнесло свою долю в качество мониторинга, выявив локальное образование осовов (рис. 19).

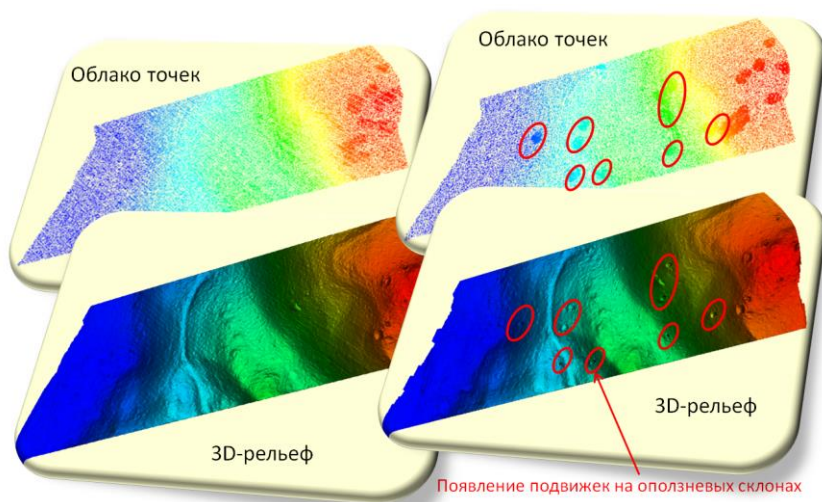


Рис. 19. Результаты анализа цифровых моделей рельефа наземной лазерной съёмки

Сопоставление результатов анализа цифровых моделей и инструментальных наблюдений наряду с данными инженерного изучения склонов выявило ряд изменений в рельефе (рис. 20). Несмотря на то что по расчетам многие склоны являются устойчивыми (имеют коэффициенты устойчивости от 1,3 до 2,1), видны проявления подвижек грунтов - серповидные молодые деревья и микробугристо-западинный рельеф, при этом почвенно-растительный слой не деформирован. Анализ данных показал, что при съёмке в межсезонье заметны положительные и отрицательные изменения в рельефе величиной в первые сантиметры. При съёмке в сухой сезон видна усадка грунтов (рис. 21). Создаваемое в грунтах напряжение при переувлажнении активирует дефлюкционные процессы и криповое течение. Эти зачастую главенствующие факторы создают микробугристо-западинный рельеф и вызывают деформацию стволов растущих молодых деревьев, не нарушая почвенно-растительный слой.

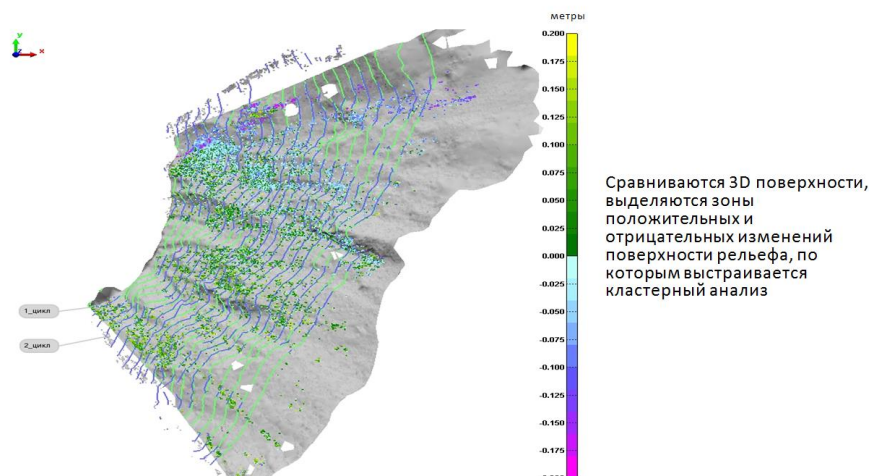


Рис. 20. 3D модель оползневого тела с нанесением результатов анализа

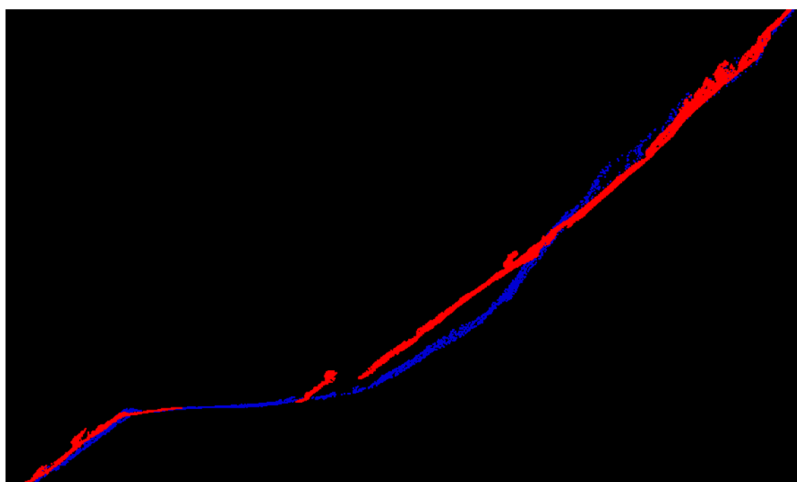


Рис. 21. Профили лазерных сканов. Нулевой этап выделен синим цветом, последующий – красным

Все полученные при проведении мониторинга данные заносятся, как упоминалось ранее, в геоинформационную систему. Данная процедура, во-первых, упрощает работу с информацией, а во-вторых, формирует базу данных архивов. Учитывая, что для многих типов пространственных операций конечным результатом является представление данных в виде карты или графика, существует необходимость структурирования полученной входной информации. А карта - это очень эффективный и информативный способ хранения, представления и передачи графической (имеющей пространственную привязку) информации. Геоинформационная система предоставляет новые инструменты визуализации самих карт, а также отчеты, трехмерные изображения, графики, таблицы, фотографии и другие виды информации, занесенные в базы данных (рис. 22).



Рис. 22. Структура геоинформационной системы для мониторинга

В заключение следует отметить, что, по сути, проведение мониторинга не ограничивается только лишь съемкой, анализом и интерпретацией данных. Это достаточно большой комплекс мероприятий, в который входит множество методов и узконаправленных решений.

Выходные данные: Журнал «Инженерные изыскания», №10-11/2013, С. 44-55