

ГМА

Геодезия
Маркшейдерия
Аэросъёмка



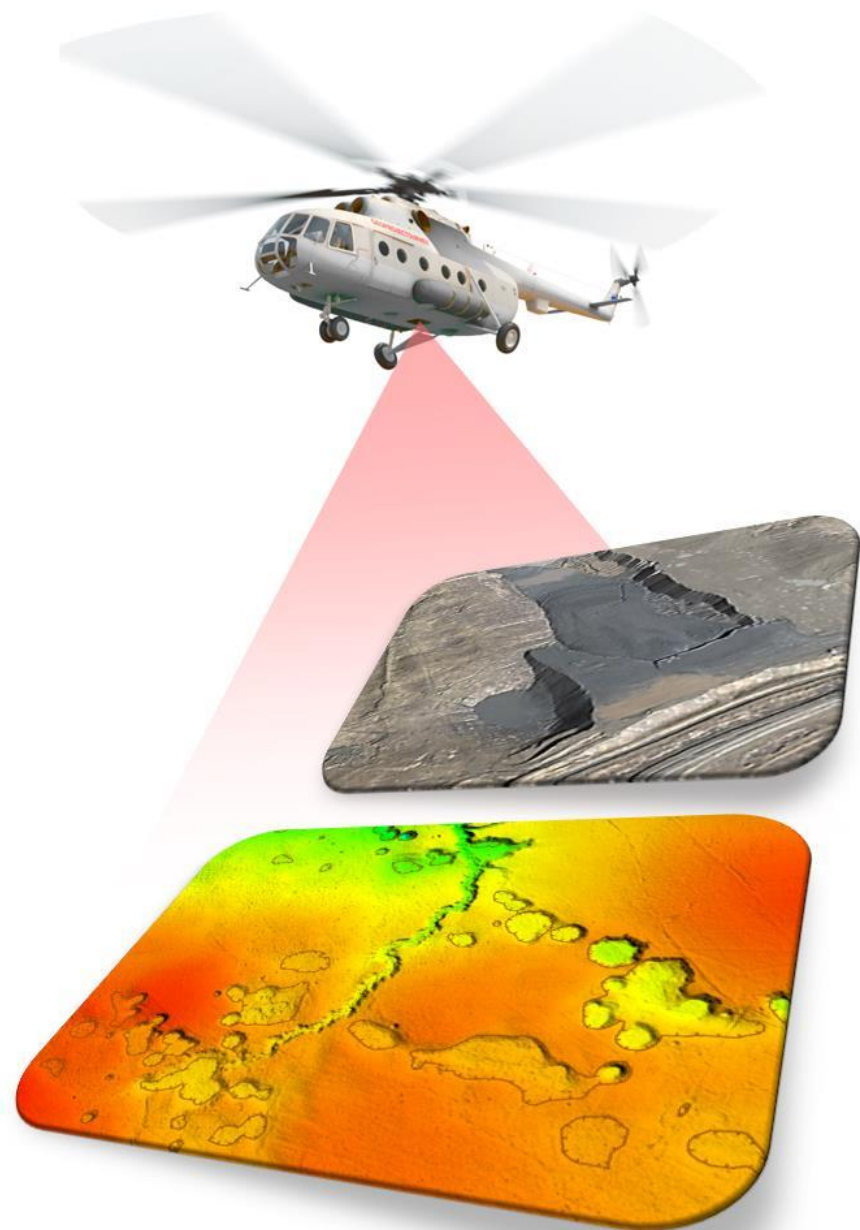
XIII Научно-практическая конференция
10-11 февраля 2022 года

ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

для выявления обширных
просадок грунта и карстовых
процессов

Докладчик:
Макаров Андрей Александрович
Начальник отдела дистанционного зондирования

ГЕОПРОЕКТИЗЫСКАНИЯ | 2022



ООО ГЕОПРОЕКТИЗЫСКАНИЯ

Международный профессиональный конкурс НОПРИЗ

«Лучший проект в области инженерно-геодезических изысканий»



2020

**ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ
СКАНИРОВАНИЕ**

**ДЛЯ МОНИТОРИНГА
ПРОСАДОК ГРУНТА**

**НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ
ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТОК
ШАХТЫ 7 НОЯБРЯ (КУЗБАСС)**

2021

**ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ
СКАНИРОВАНИЕ**

**ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ВЫЯВЛЕНИЯ
КАРСТОВЫХ
ПРОЦЕССОВ**

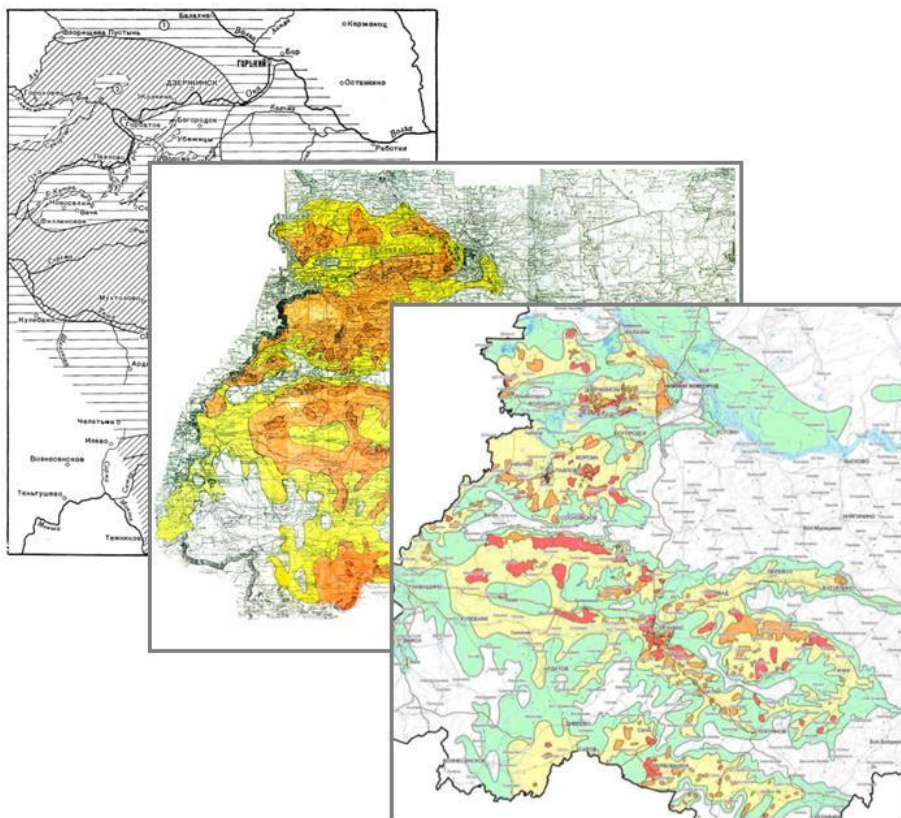
**НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАССЫ М12
МОСКВА-КАЗАНЬ
В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

**ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫЯВЛЕНИЯ
КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

**НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАССЫ М12
МОСКВА-КАЗАНЬ
В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

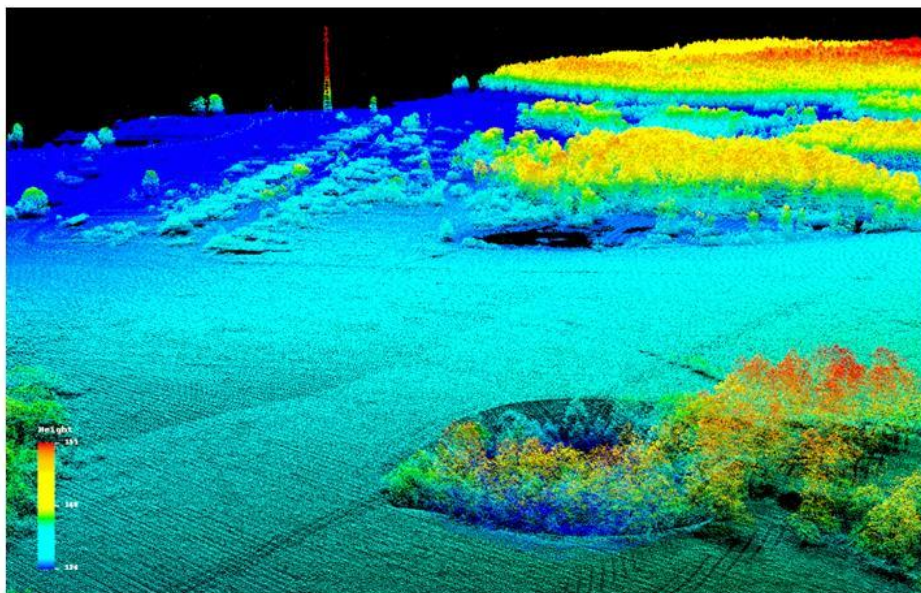
Карстологические исследования



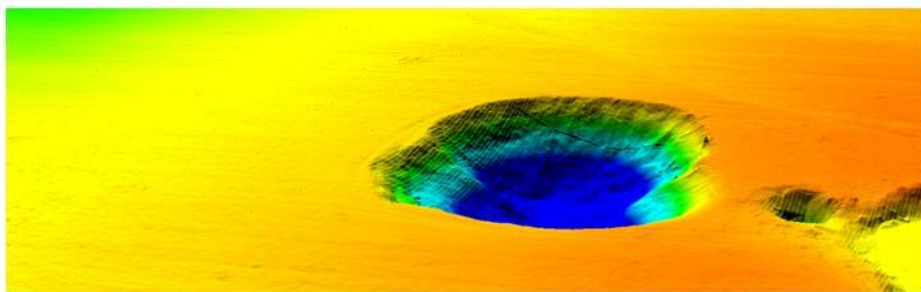
Как правило, в рамках комплексных изысканий при проектировании, в составе с инженерно-геологических изысканий проводятся и карстологические исследования и оценка карстовой опасности, которые в себя включают:

- Анализ геологических карт, космо- и аэрофотоснимков, а также топооснов на территорию проектирования объекта;
- Комплекс геофизических и буровых исследований с целью выявления потенциально опасных подземных карстопроявлений.
- Создание карт карстоопасности.

Карстологические исследования



Параллельно, в рамках инженерно-геодезических изысканий проводится топографическая съемка методом воздушного лазерного сканирования, неоспоримым преимуществом которого, является возможность быстрого получения плотного облака точек лазерных отражений от любых объектов на поверхности земли, даже под густой растительностью.



В результате, мы получаем максимально детализированную Цифровую Модель Рельефа, анализ которой, в том числе, позволяет выявить даже самые слабые проявления поверхностного карста.

ВЫЯВЛЕНИЕ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Примеры отображения карстовых процессов

Дер. Пивоварово Вязниковского района Нижегородской области

Аэрофотоснимок

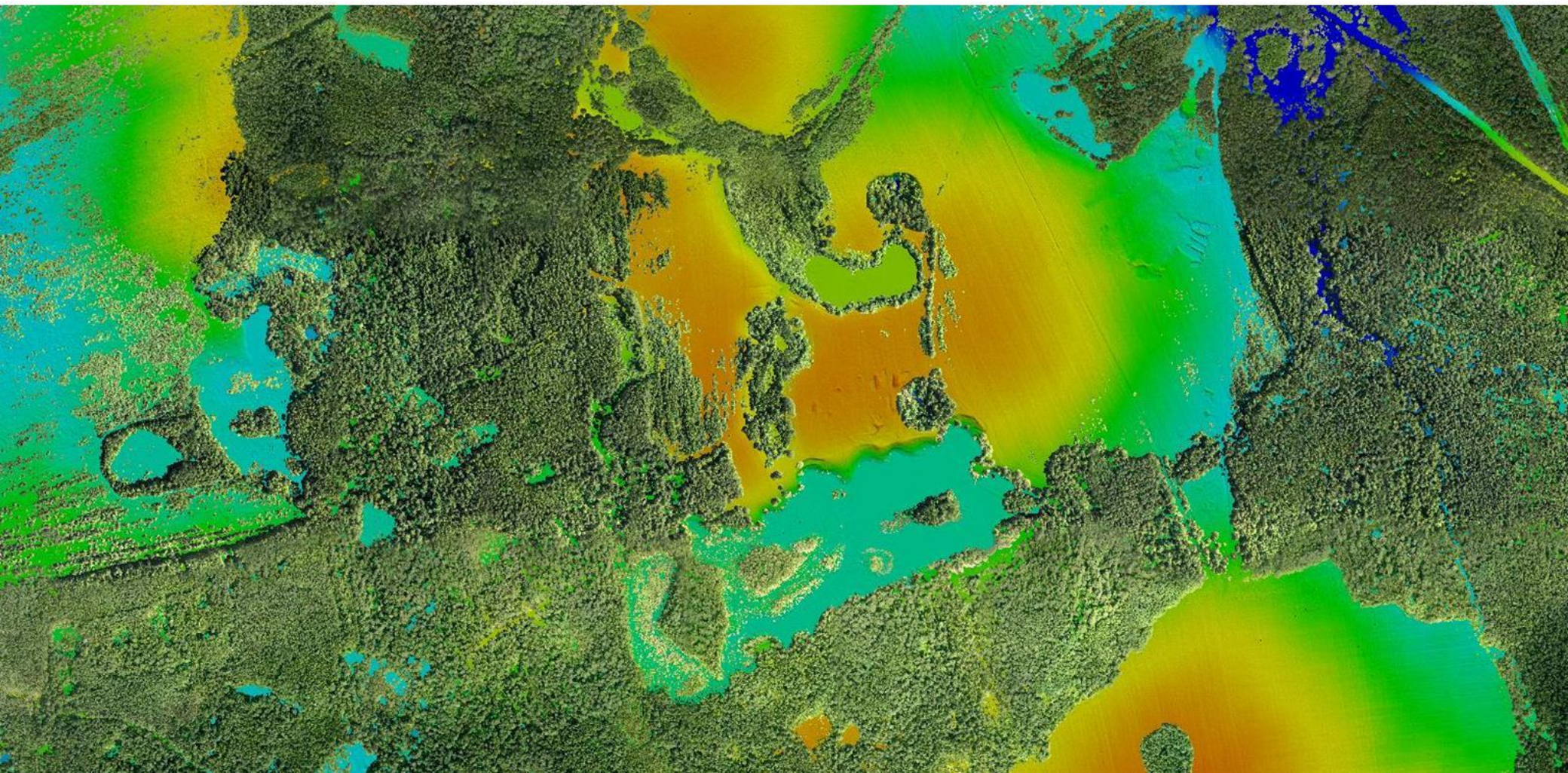


ВЫЯВЛЕНИЕ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Примеры отображения карстовых процессов

Дер.Пивоварово Вязниковского района Нижегородской области

Цифровая Модель Местности (растительность в виде ТЛО)

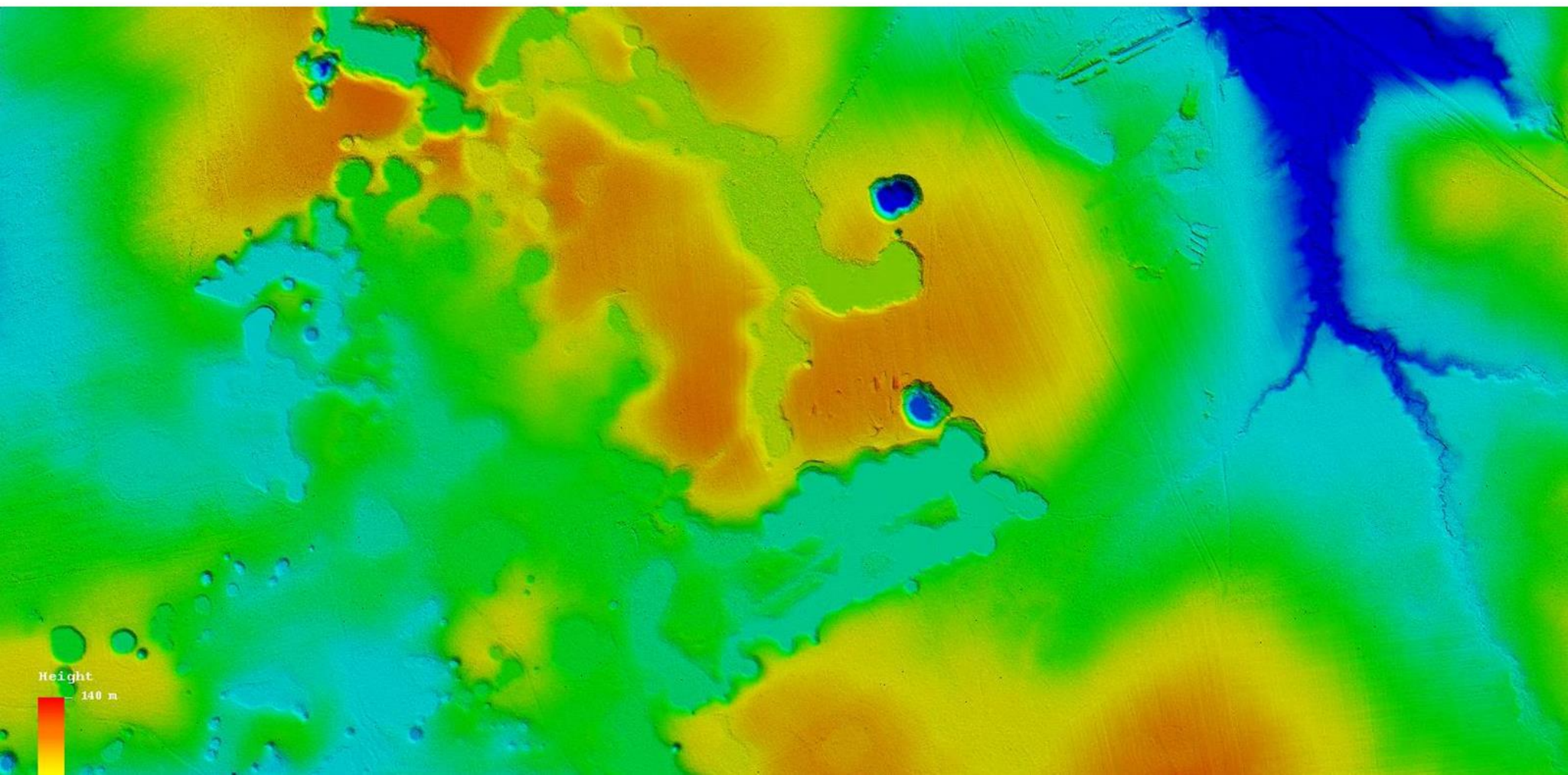


ВЫЯВЛЕНИЕ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Примеры отображения карстовых процессов

Дер. Пивоварово Вязниковского района Нижегородской области

Цифровая Модель Рельефа



ВЫЯВЛЕНИЕ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Примеры отображения карстовых процессов

Дер.Пивоварово Вязниковского района Нижегородской области

Аэрофотоснимок

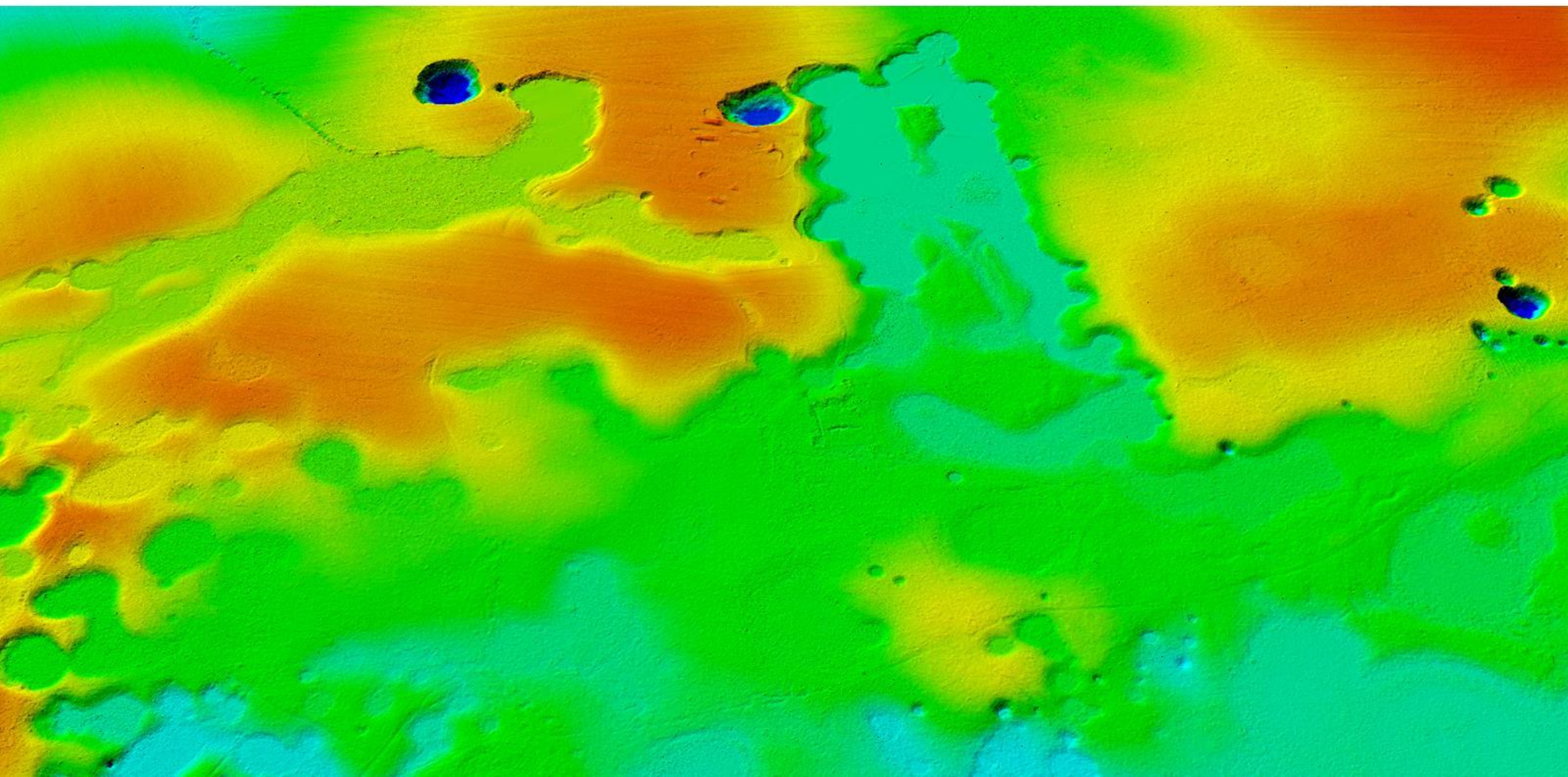


ВЫЯВЛЕНИЕ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

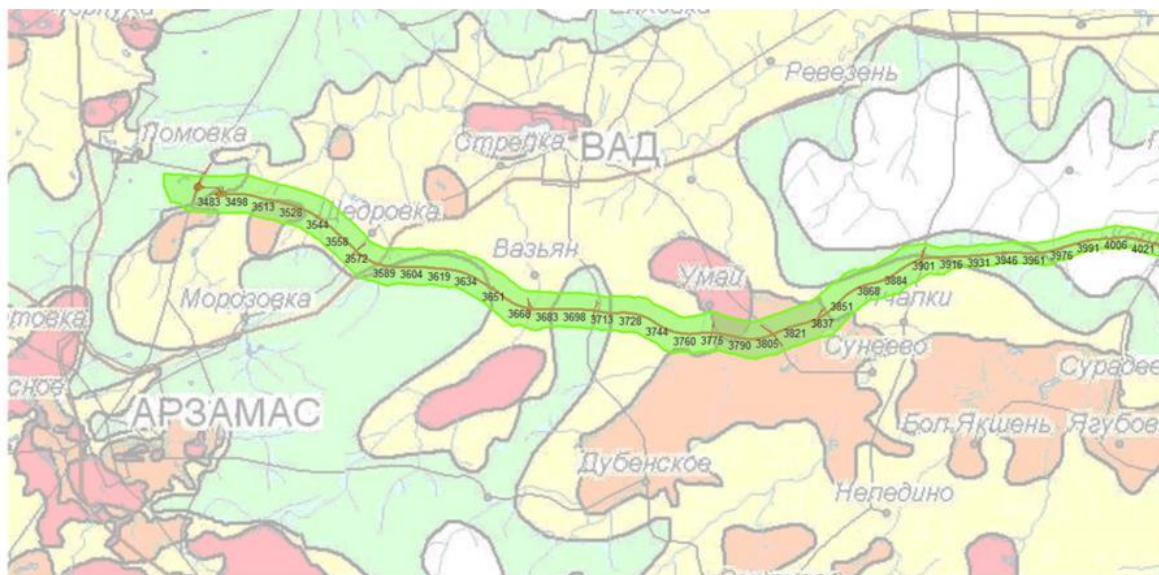
Примеры отображения карстовых процессов

Дер.Пивоварово Вязниковского района Нижегородской области

Цифровая Модель Рельефа (изометрия)



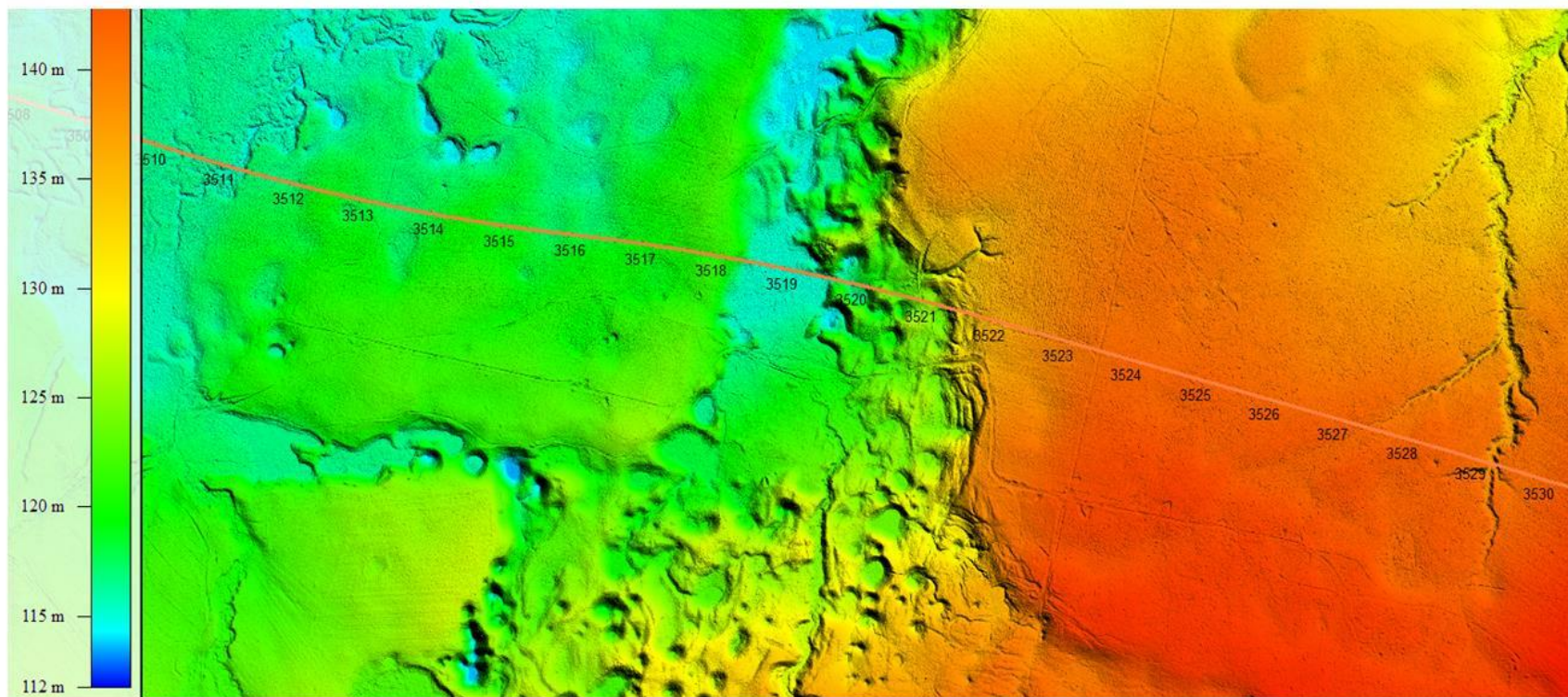
«Строящаяся скоростная автомобильная дорога Москва – Нижний Новгород – Казань», 347–454 км»



Именно этим преимуществом лазерного сканирования было принято воспользоваться при проведении комплексных изысканий на участке 347–454 км проектирования автомобильной дороги «Москва – Нижний Новгород – Казань» для ускорения карстологического исследования в рамках ИГИ, так как согласно карте развития карстовых процессов Нижегородской области, участок трассы в районе пос. Вад (347 до 390 км) имеет участки от 5 д 10 класса карстопровальной опасности,...

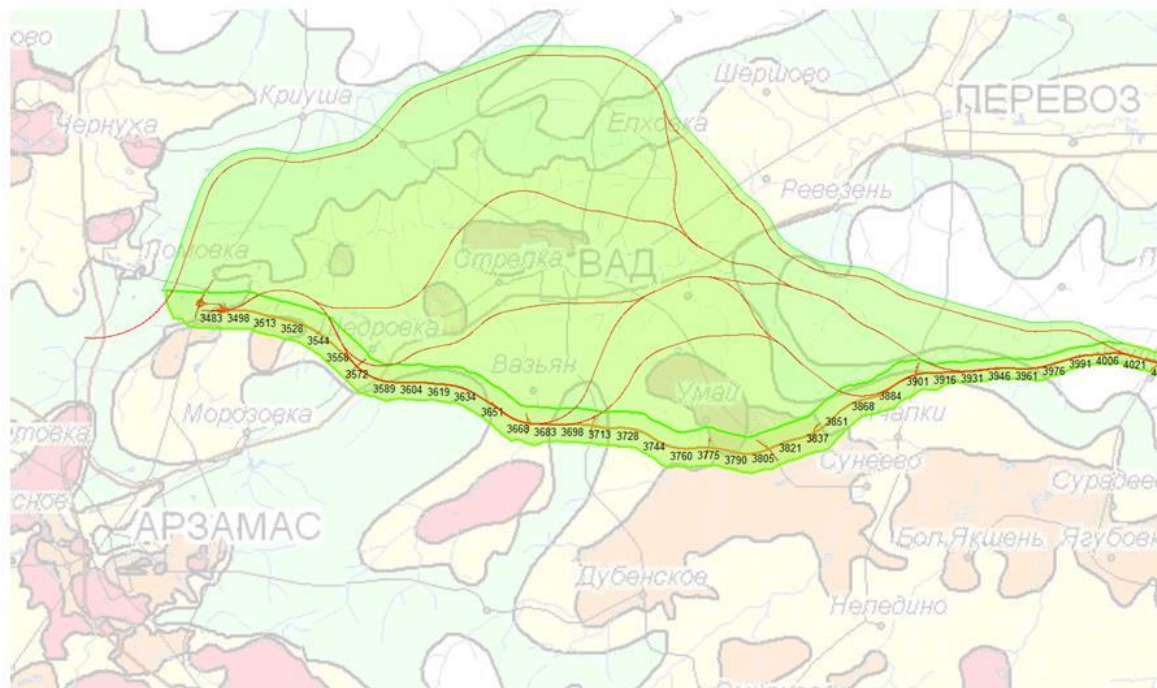
Условные обозначения	Необходимость учета негативного влияния карста при инженерно-строительном освоении территории *	Примерное соответствие	
		категориям карстоопасности по интенсивности провалообразования (по СП 11-105-97 ч.П) **	классам карстопровальной опасности по интенсивности провалообразования
	Весьма высокая	I - III	10 - 6
	Высокая	II - IV	8 - 5

«Строящаяся скоростная автомобильная дорога Москва – Нижний Новгород – Казань», 347–454 км»



..что и было сразу выявлено на полученной по результатам ВЛС Цифровой Модели Рельефа с разрешением 0.5м, необходимой для составления топографических планов в рамках ИГДИ.

«Строящаяся скоростная автомобильная дорога Москва – Нижний Новгород – Казань», 347–454 км»



Изначально, в рамках ИГДИ съемка ВЛС производилась коридором 1500м, чтобы в случае возможной перетрассировки иметь все необходимые материалы.

Но обилие карста в районе работ привело к необходимости выбора альтернативных вариантов прохождения трассы в обход карста.

Таким образом, основываясь на преимуществе ВЛС быстрого получения данных о карсте, было принято решение о съемке дополнительного участка к северу от трассы.

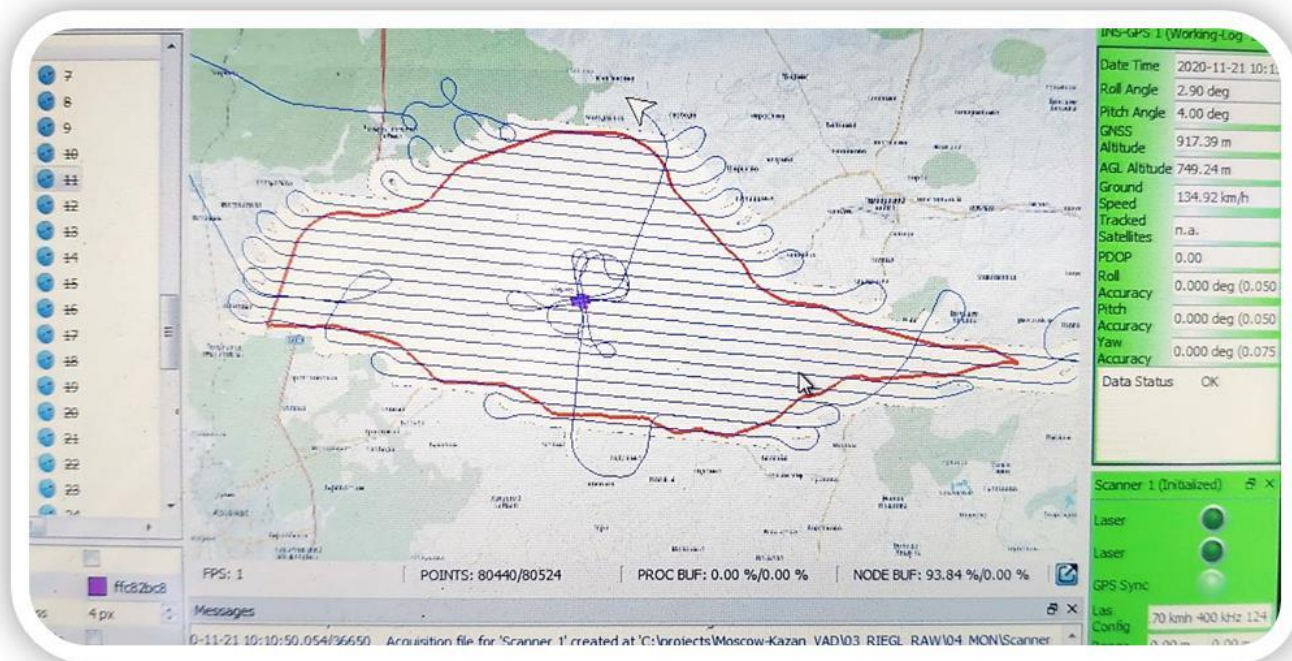
«Строящаяся скоростная автомобильная дорога Москва – Нижний Новгород – Казань», 347–454 км»



Дополнительным осложняющим фактором было то, что на дату принятия решения о дополнительной съемке была уже середина ноября, а требовалось успеть выполнить работы до выпадения снега, для этого требовался как минимум один день с высотой облачности выше 1000м.

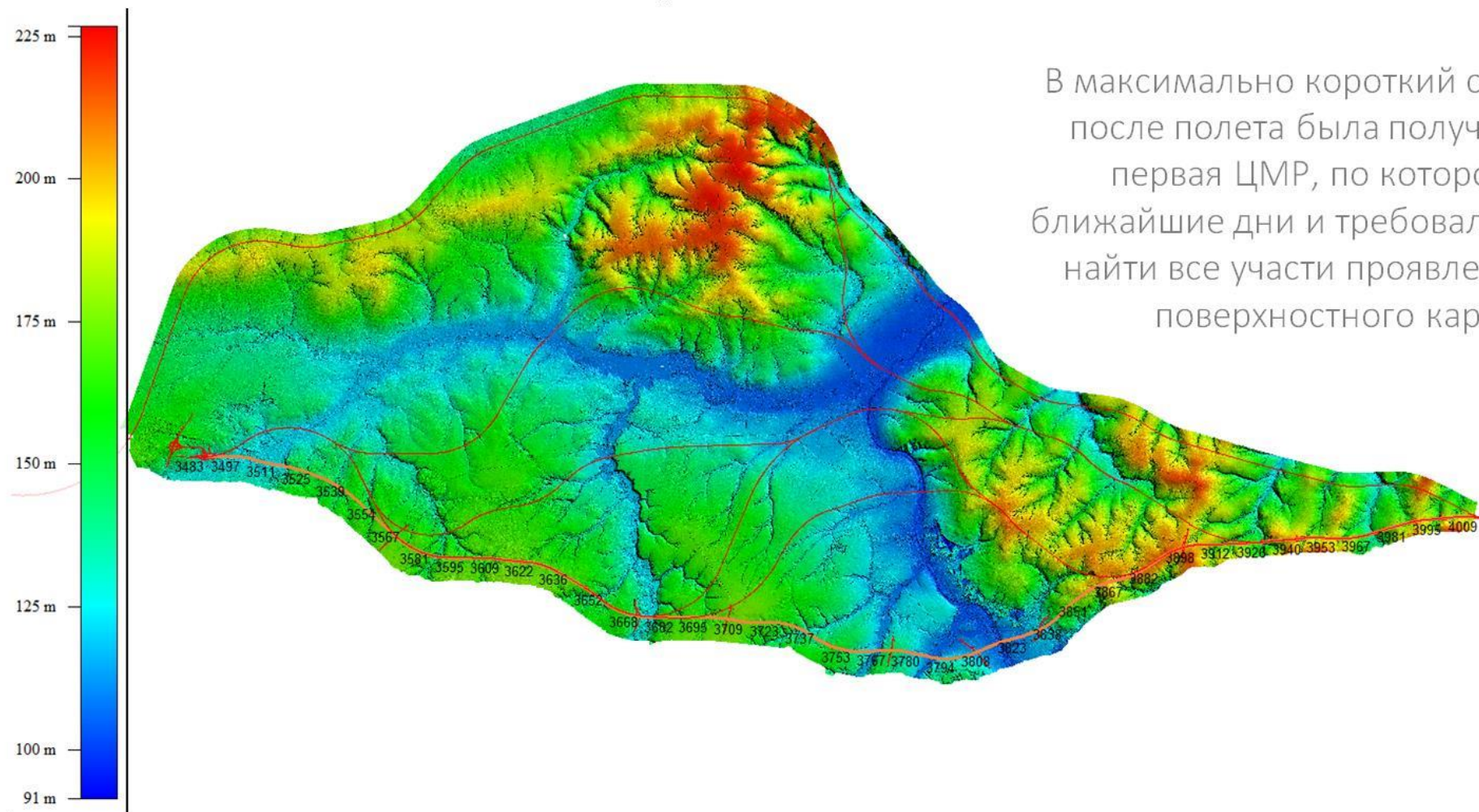


«Строящаяся скоростная автомобильная дорога Москва – Нижний Новгород – Казань», 347–454 км»



В итоге, 21 ноября был выбран единственный солнечный день перед выпадением снега, за который была выполнена лазерное сканирование всего объекта площадью 540 кв.км. с плотностью точек лазерных отложений (ТЛО) 5т/кв.м

«Строящаяся скоростная автомобильная дорога Москва – Нижний Новгород – Казань», 347–454 км»



В максимально короткий срок после полета была получена первая ЦМР, по которой в ближайшие дни и требовалось найти все участки проявления поверхностного карста.

«Строящаяся скоростная автомобильная дорога Москва – Нижний Новгород – Казань», 347–454 км»

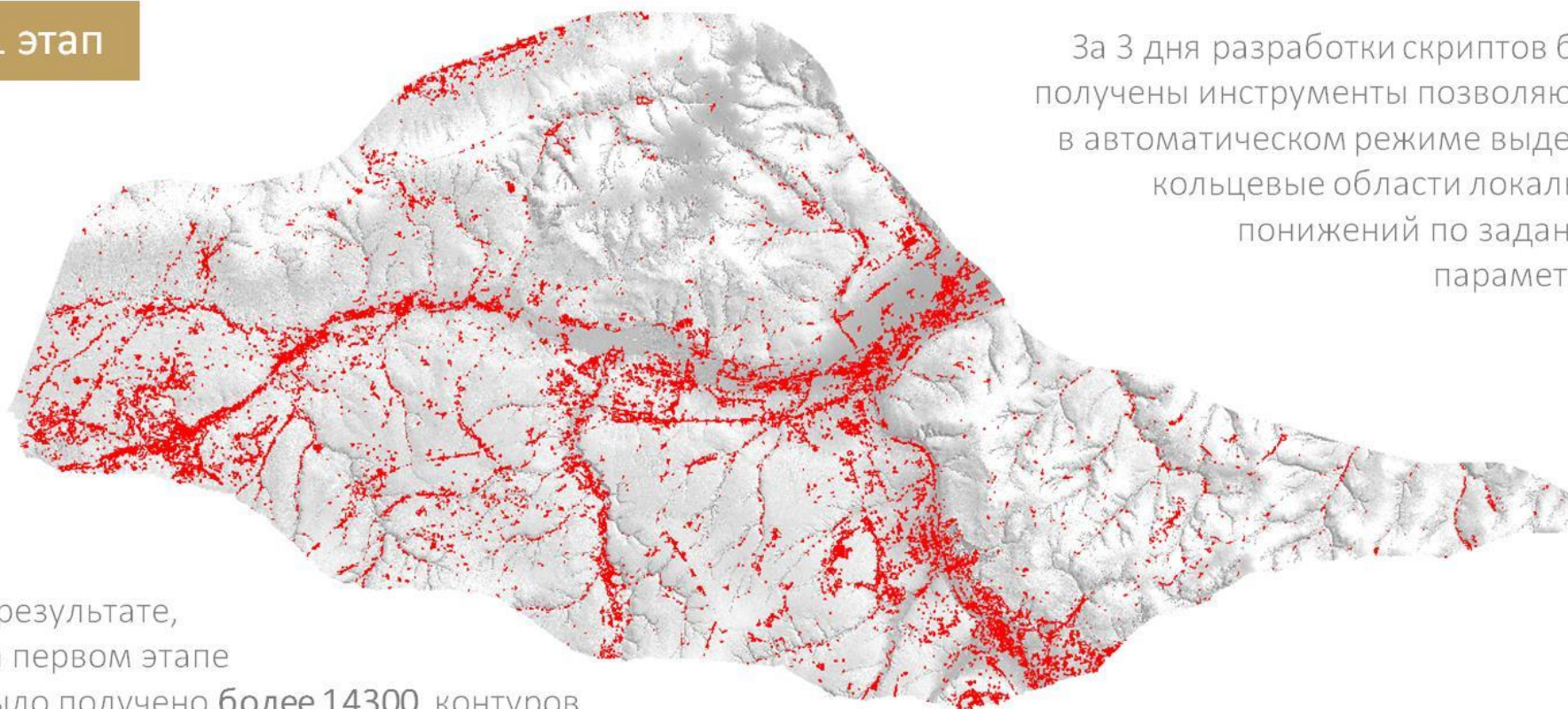
В виду большой площади и очень сжатых сроков было принято решение об автоматизации поиска карстовых воронок по полученной ЦМР.

Для создания автоматических скриптов были подготовлены следующие требования в Техническом задании:

1. Программное обеспечение создается на базе платформы **ArcGIS Desktop 10.5**
2. Количество автоматических определяемых карстовых воронок: **не менее 90%** от общего их количества (определяемых визуально по ЦМР).
3. Каждый контур воронки должен иметь атрибуты с максимальной глубиной воронки и ее площадью.
4. Все контуры должны быть замкнуты.
5. Несколько контуров должны быть объединены в общий, в случае, если несколько воронок расположены в одном общем понижении относительно средней поверхности земли в этом месте и образовывать единый водосбор.
6. Минимальная глубина распознаваемого понижения должна быть настраиваемой величиной (по умолчанию 0.2 м).
7. Минимальная площадь дешифрируемой воронки или общего понижения должна быть настраиваемой величиной (по умолчанию 50 м²)
8. Должна быть обеспечена возможность пакетной обработки нескольких наборов исходных данных

«Строящаяся скоростная автомобильная дорога Москва – Нижний Новгород – Казань», 347–454 км»

1 этап

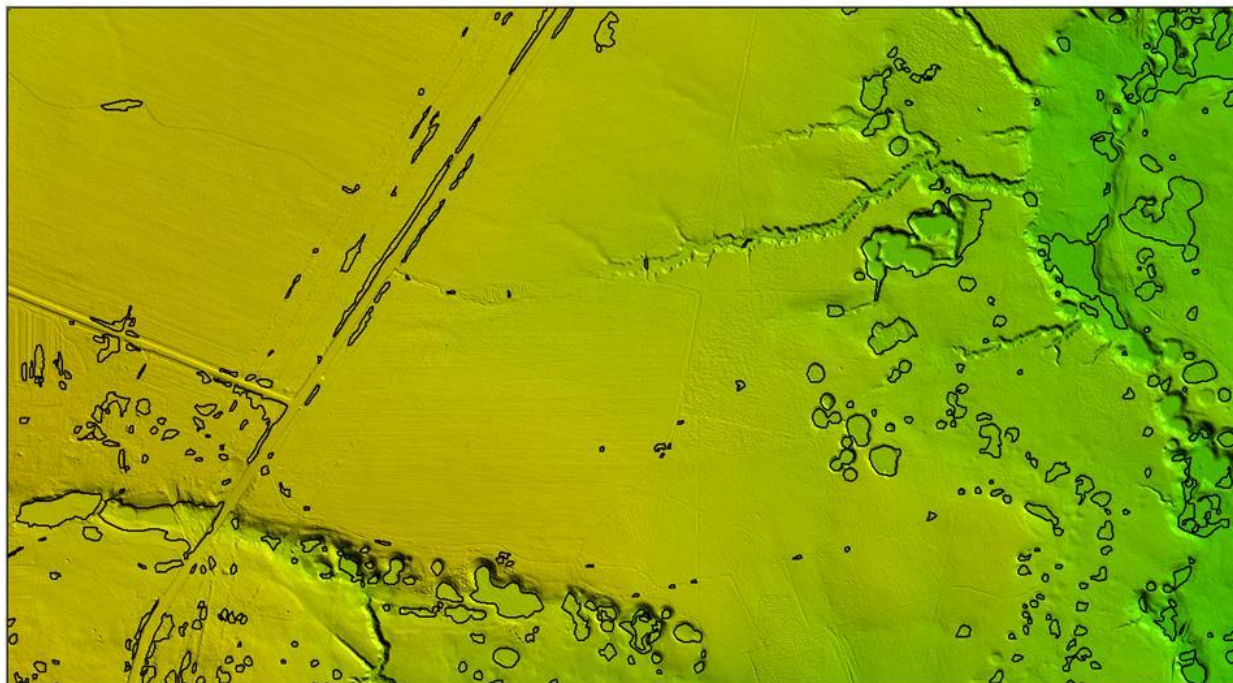


За 3 дня разработки скриптов были получены инструменты позволяющие в автоматическом режиме выделять кольцевые области локальных понижений по заданным параметрам.

В результате, на первом этапе было получено более 14300 контуров таких объектов только с размером по большей стороне более 10 м, в которые также попадали пруды, озера, участки русел рек и искусственные понижения вдоль дорог, ограниченные мостами и дамбами так же попавшими в рельеф без ручной фильтрации.

Заключение

Качество дешифрирования

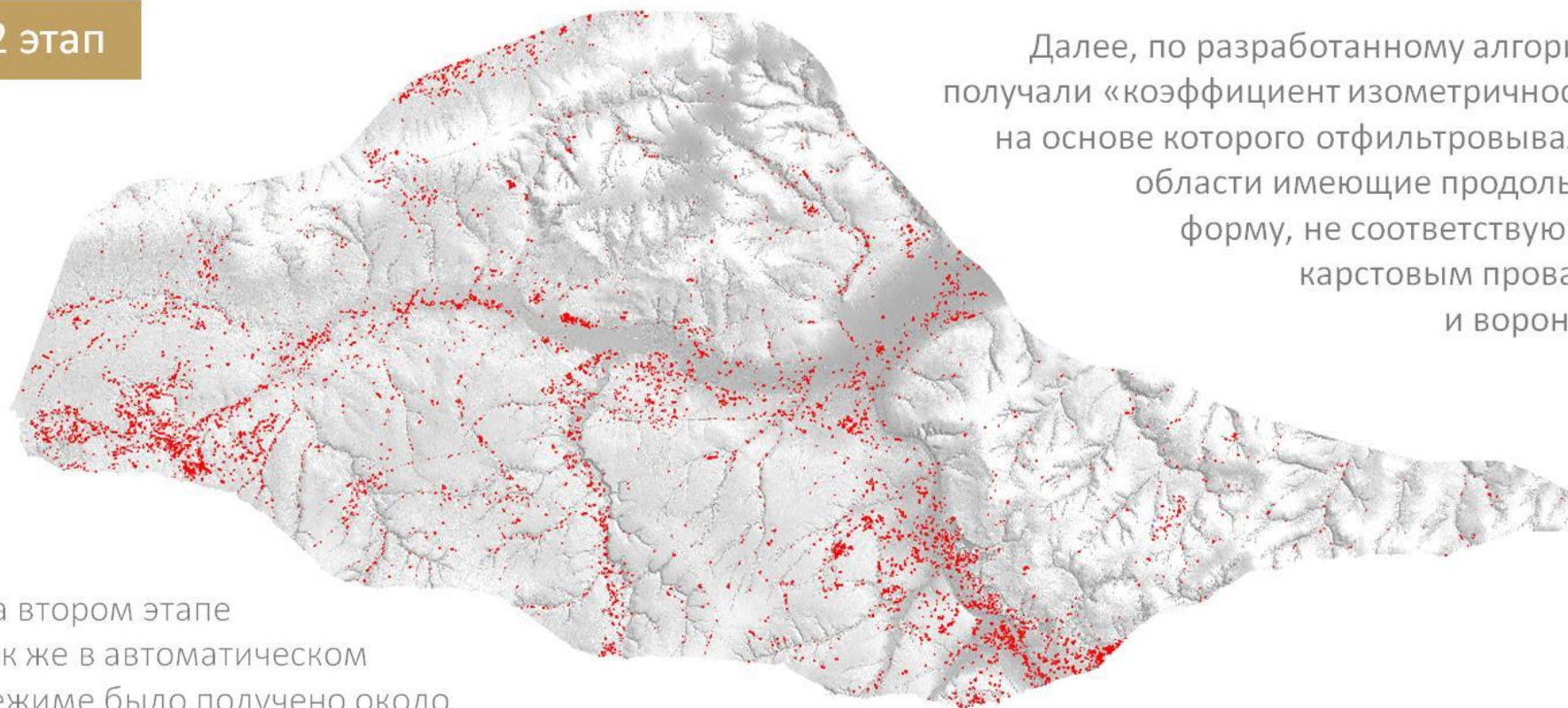


После первого этапа автоматического оконтуривания кольцевых понижений, более 90% карстовых воронок видимых на ЦМР дешифрируются,

При этом в слой попадает 30-40% паразитных областей, не имеющих природу карстового происхождения.

«Строящаяся скоростная автомобильная дорога Москва – Нижний Новгород – Казань», 347–454 км»

2 этап



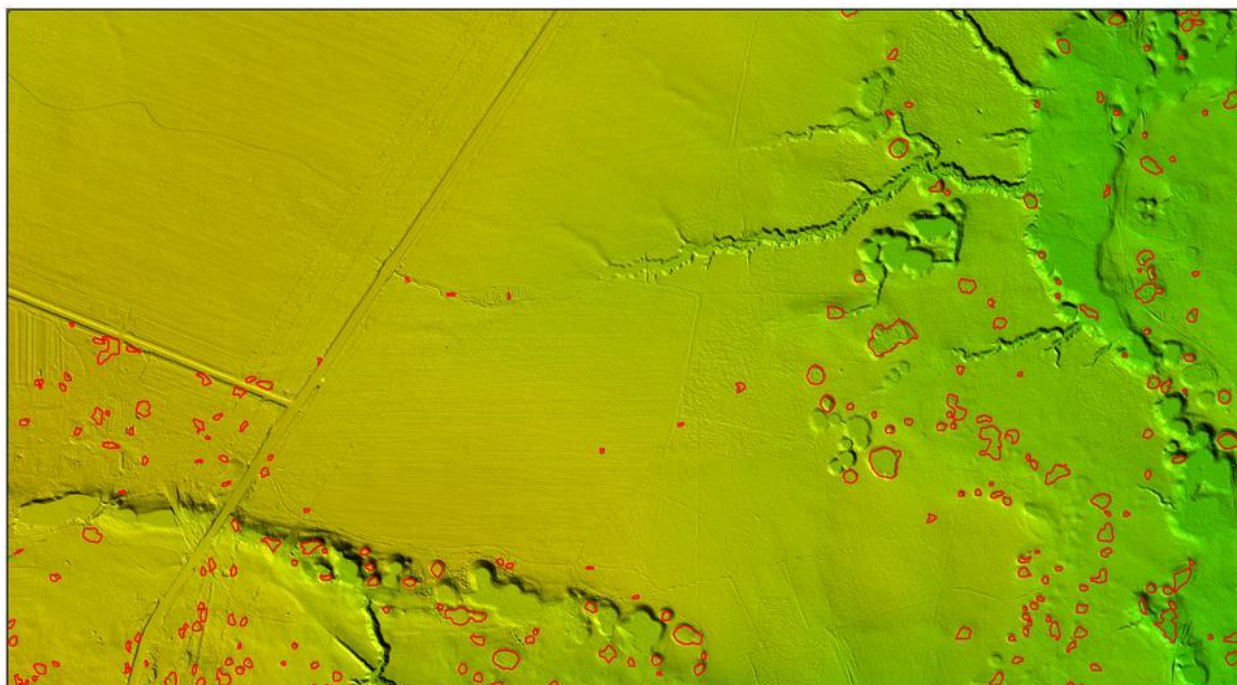
Далее, по разработанному алгоритму получали «коэффициент изометричности», на основе которого отфильтровывались области имеющие продольную форму, не соответствующую карстовым провалам и воронкам.

На втором этапе так же в автоматическом режиме было получено около **9000 контуров**, максимально соответствующих контурам объектов поверхностного карста.

На выявление такого количества объектов в поле и нанесение их на карту потребовался бы не один месяц работы.

Заключение

Качество дешифрирования

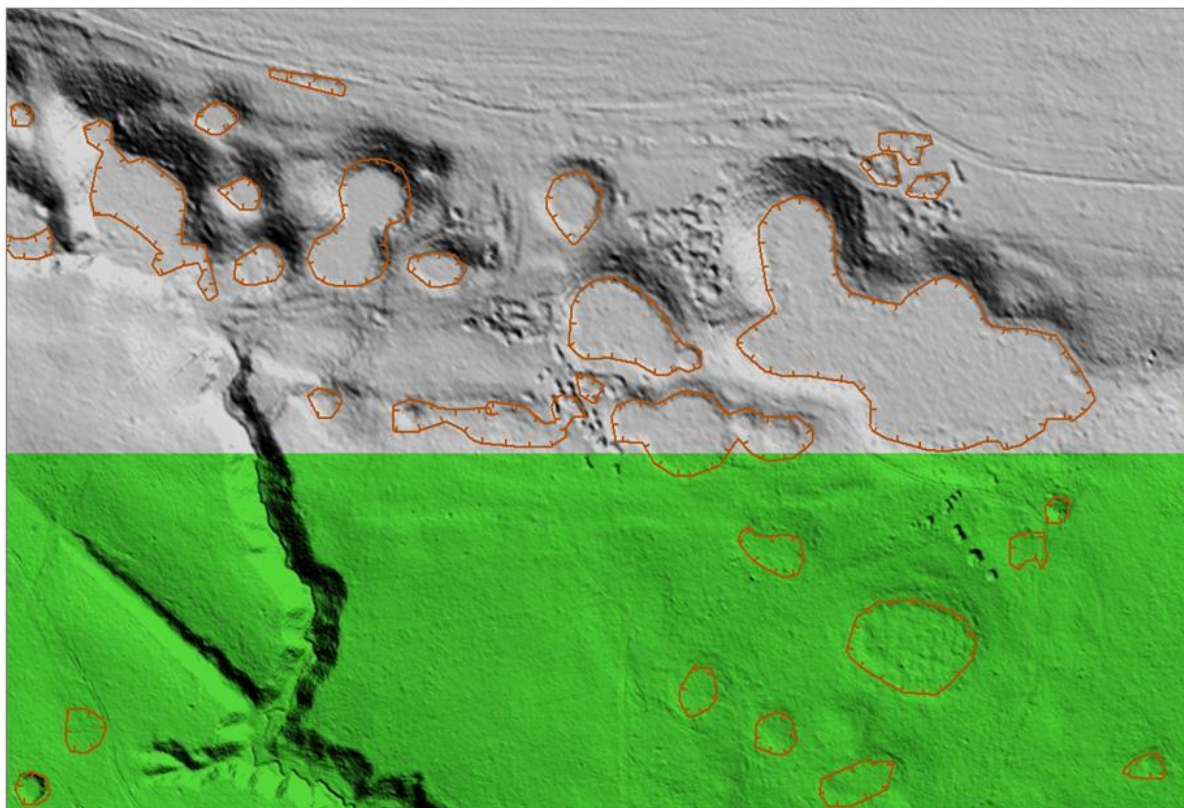


На втором этапе 90-95% паразитных областей отсеивается, но вместе с ними могут пропадать и объекты, явно имеющие карстовое происхождение.

В разных районах потребуется своя тонкая настройка этого инструмента для доведения точности дешифрирования всех объектов поверхностного карста как минимум до 90% от визуально опознаваемых по ЦМР.

Заключение

Разрешение цифровой модели рельефа



1 метр/пиксель

0.5 м/пиксель

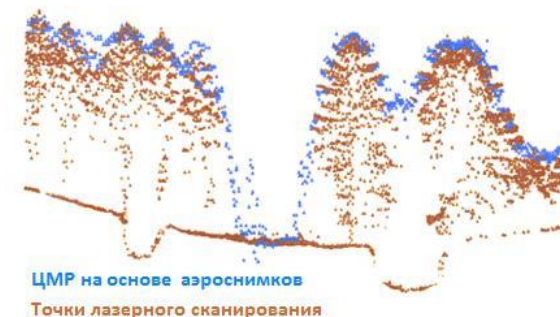
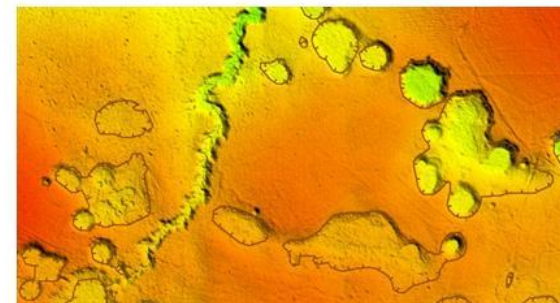
Использование модели с разрешением выше **0.5м/пиксель** не выявляет новых никаких значимых карстовых форм по сравнению с моделью с разрешением **1м/пиксель**.

Так как размеры интересующих нас карстовых форм на местности были не менее 10 метров, то для автоматического или ручного дешифрирования необходимое минимальное **разрешение ЦМР должно быть не хуже 3м/пиксель**.

Выводы

Преимущества метода

- 1. ИНФОРМАТИВНОСТЬ.** Применение ВЛС с высокой плотностью ТЛО в залесенных участках позволяет не только создавать точные и высокодетальные цифровые модели рельефа (ЦМР), но и дешифрировать в автоматическом режиме объекты поверхностного карста с размерами воронок от 2м.
- 2. ОПЕРАТИВНОСТЬ.** На выявление карста с целевым использованием ВЛС на территории до 700 км² потребуется всего 1 день аэросъемочных работ и 1-2 недели камеральной обработки. На выявление такого количества объектов методом классического карстологического обследования местности и нанесение полученных материалов на карту потребовался бы не один месяц работы.
- 3. УНИКАЛЬНОСТЬ.** Даже современная аэрофотосъемка беспилотными аппаратами не позволяет получать такие точные ЦМР из-за невозможности получения точных измерений от реальной поверхности земли, а не от поверхности леса или высокой травы.

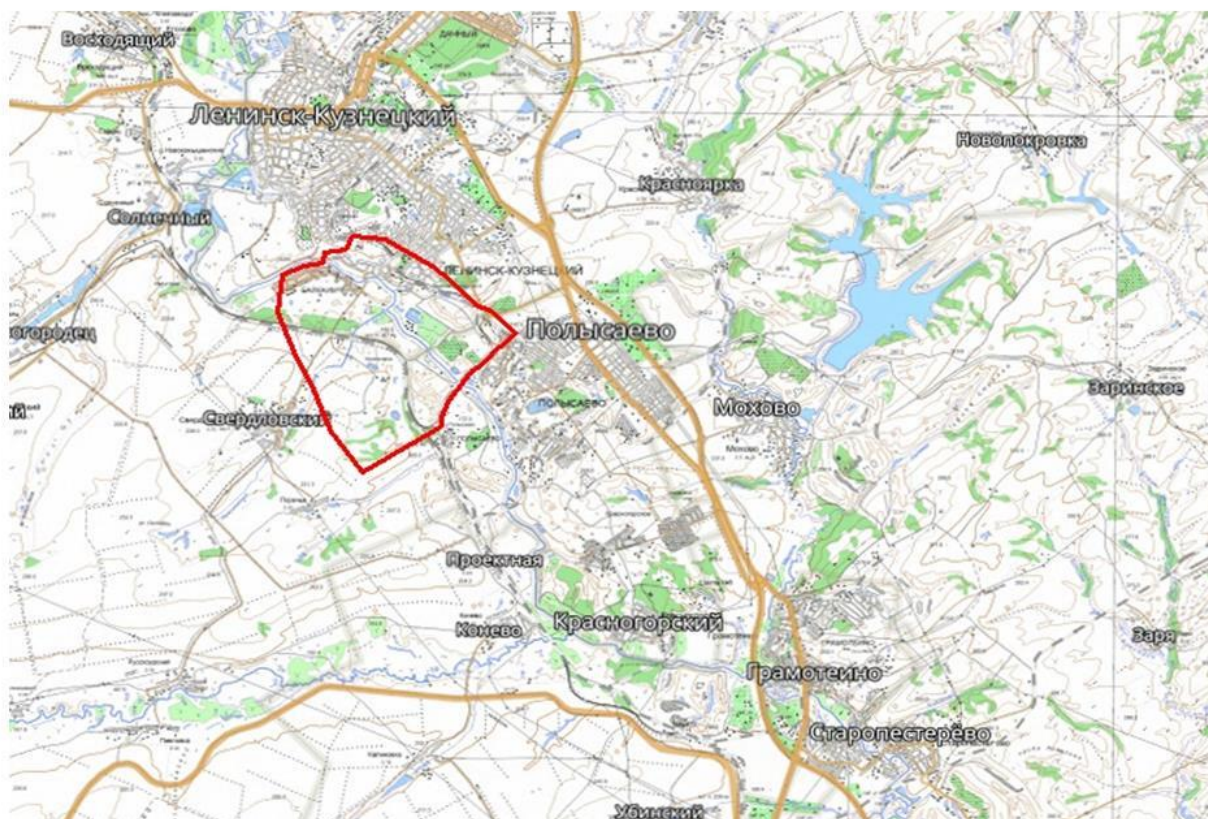


ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОСАДОК ГРУНТА
НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ПОДЗЕМНЫХ
РАЗРАБОТОК ШАХТЫ 7 НОЯБРЯ
(КУЗБАСС)

ПРИМЕНЕНИЕ ВЛС И АФС ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРОСАДОК ГРУНТА

ОБЪЕКТ РАБОТ



Участок над шахтой
«им. 7 Ноября».
Общая площадь 26.6 кв.км.

Российская Федерация,
Кемеровская область.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЛС И АФС ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРОСАДОК ГРУНТА



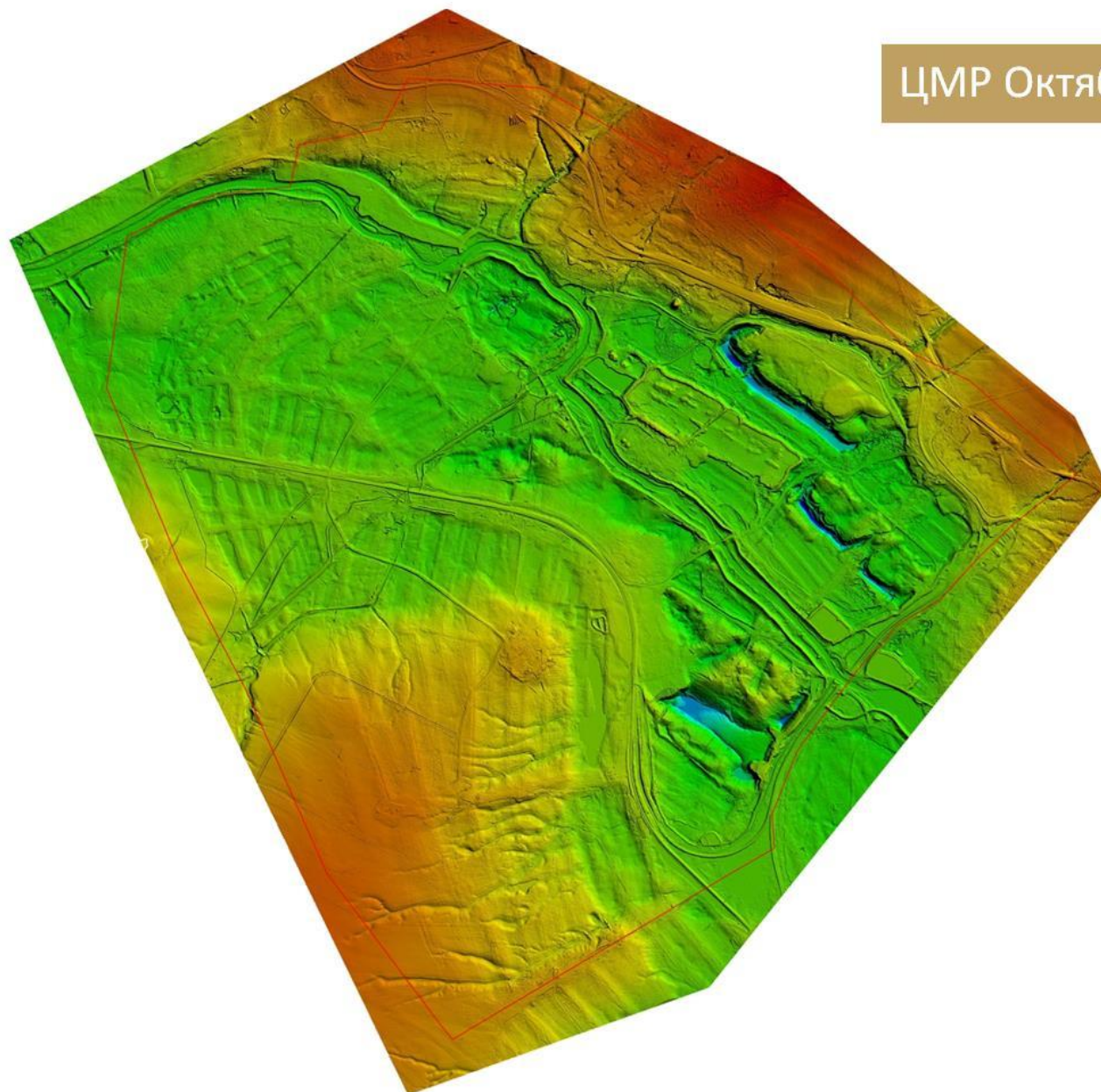
ЦЕЛЬ РАБОТ

Проведение воздушного лазерного сканирования в 2018 и 2019 годах для выявления просадок грунта над шахтой «им. 7 Ноября» на основе сравнения цифровых моделей рельефа (ЦМР), созданных из точек лазерного сканирования плотностью не менее 10 т/кв.м.

 - граница работ

ПРИМЕНЕНИЕ ВЛС И АФС ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРОСАДОК ГРУНТА

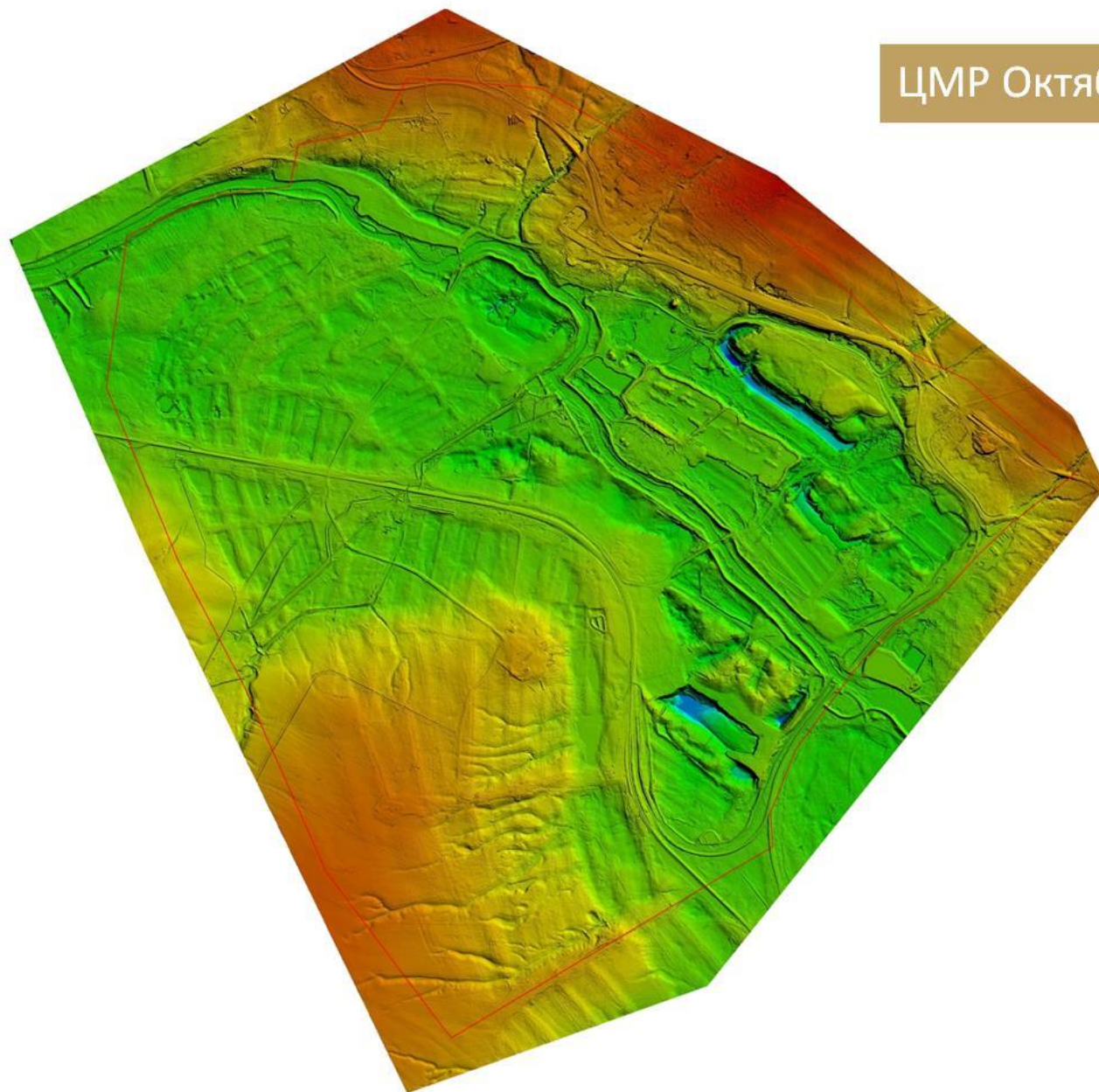
ЦМР Октябрь 2018 года



Цифровая модель рельефа по ситуации на 12 октября 2018 года.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЛС И АФС ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРОСАДОК ГРУНТА

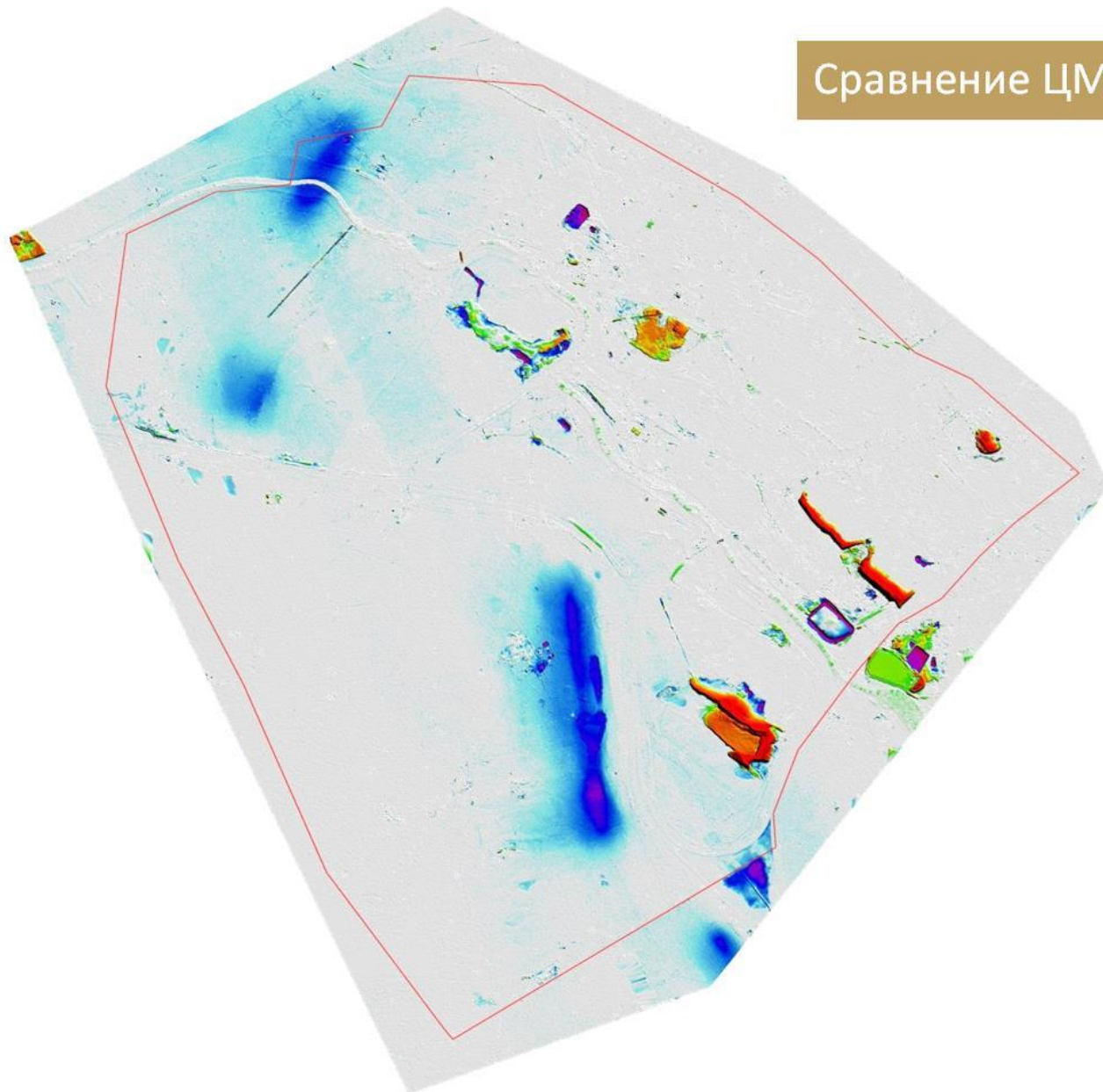
ЦМР Октябрь 2019 года



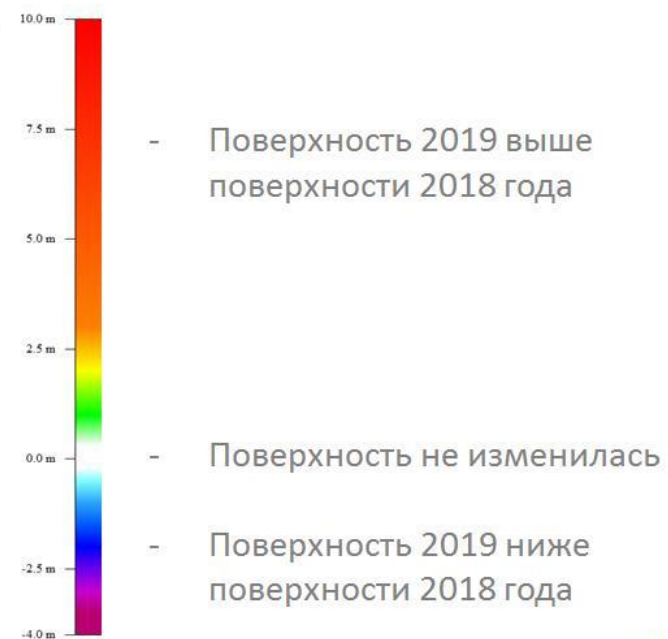
Цифровая модель рельефа по ситуации на 30 октября 2019 года.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЛС И АФС ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРОСАДОК ГРУНТА

Сравнение ЦМР 2019 с ЦМР 2018 года

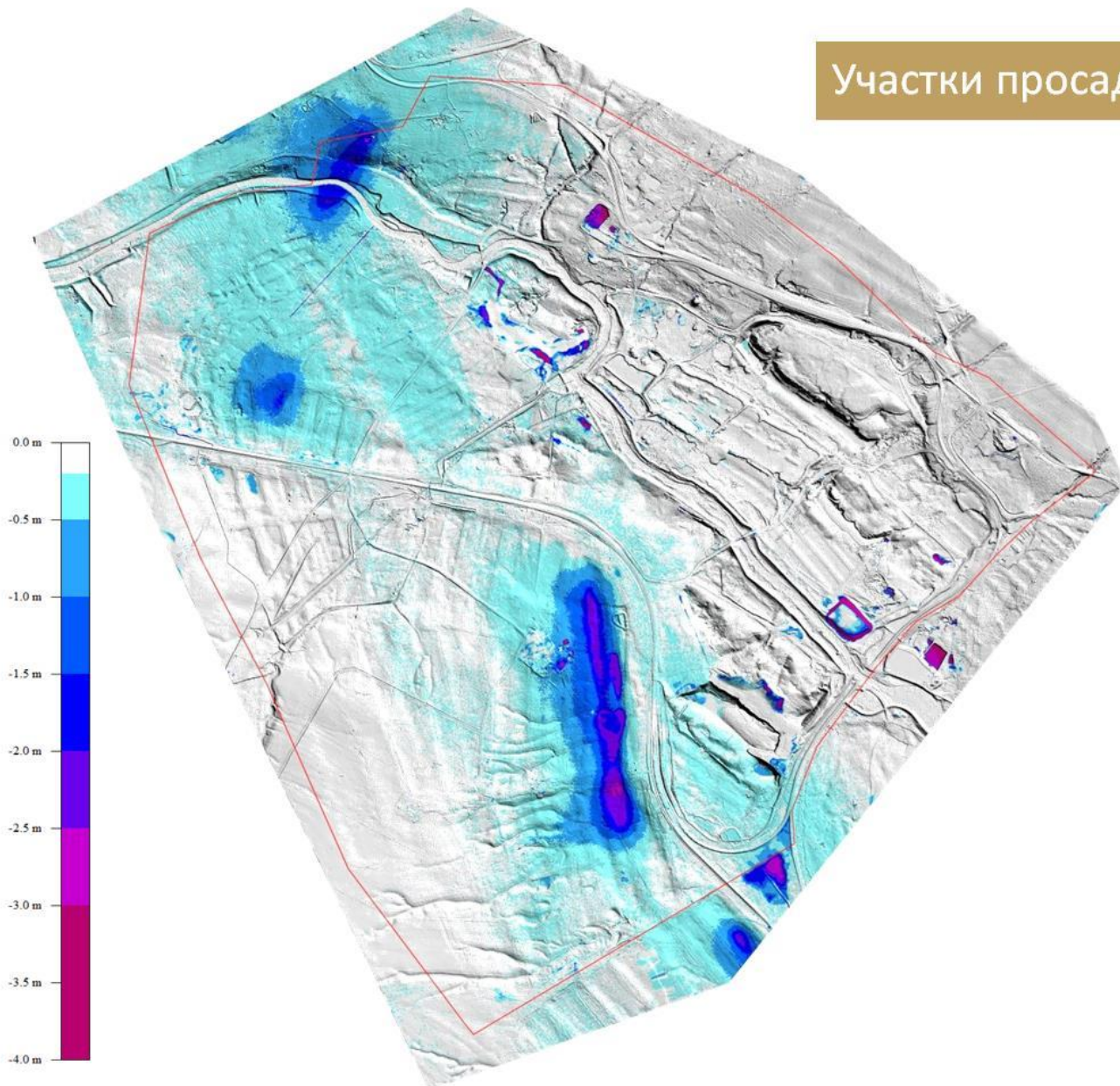


Модель сравнения отображает все участки местности, где поверхность на октябрь 2019 года изменилась с октября 2018 года.



ПРИМЕНЕНИЕ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА

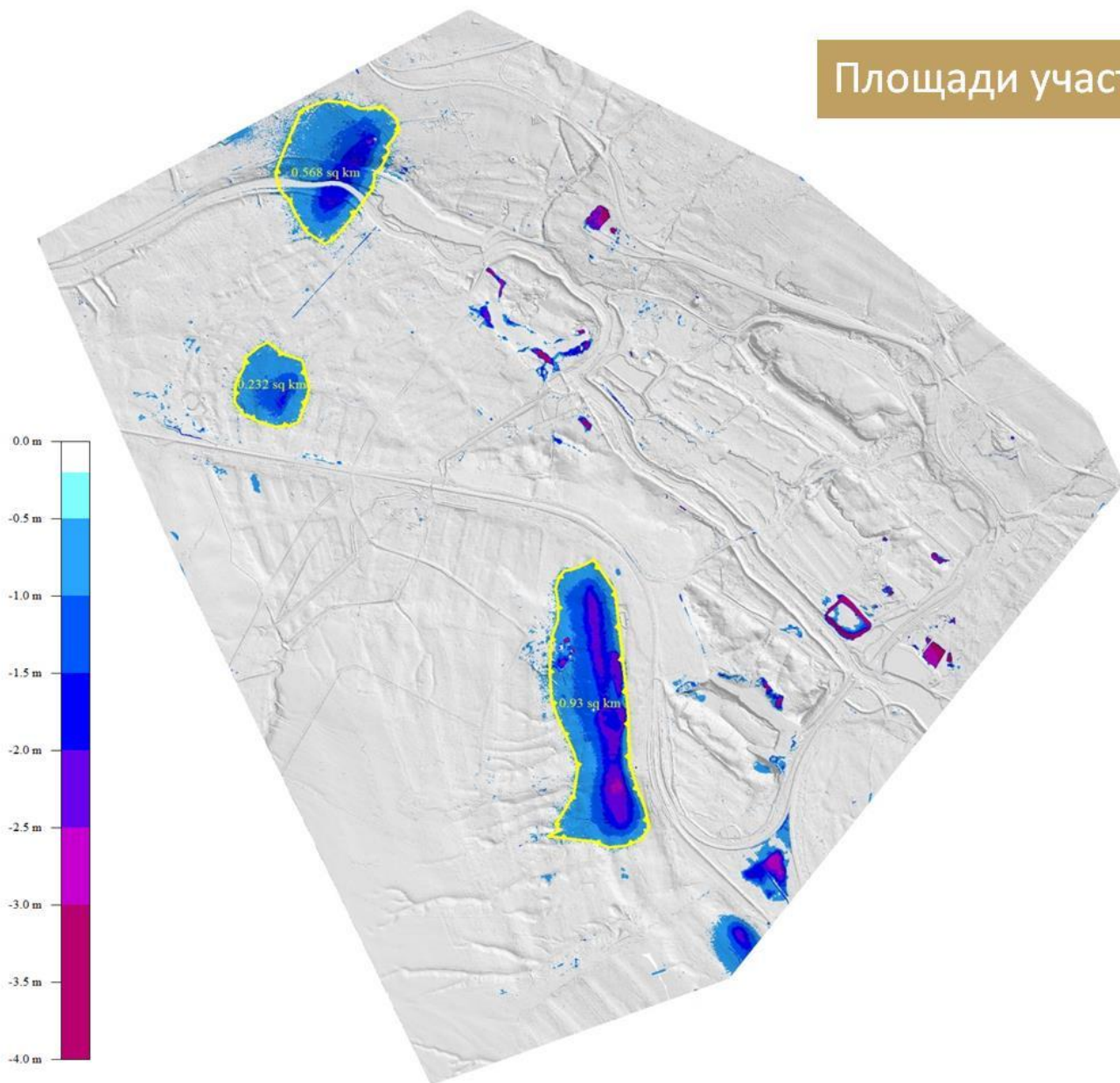
Участки просадок грунта в 2019 году



Модель отображает все участки местности, где поверхность на октябрь 2019 года ниже поверхности на октябрь 2018 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА

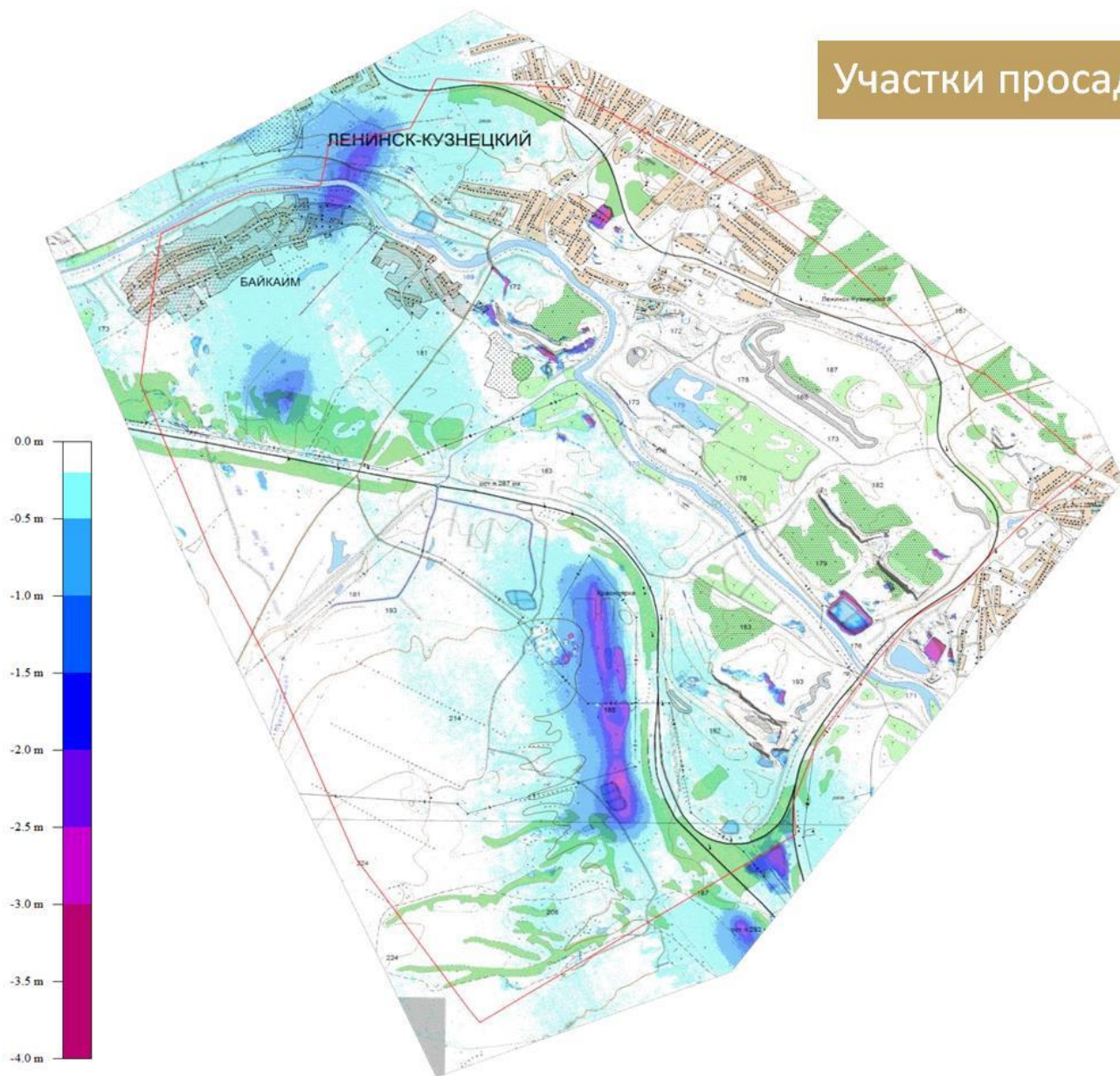
Площади участков просадок грунта



Основные участки
просадок грунта
более 50 см
общей площадью
около 173 гектар.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА

Участки просадок грунта в 2019 году



Основные участки просадок
грунта на топографической
карте
М 1:250 000

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА

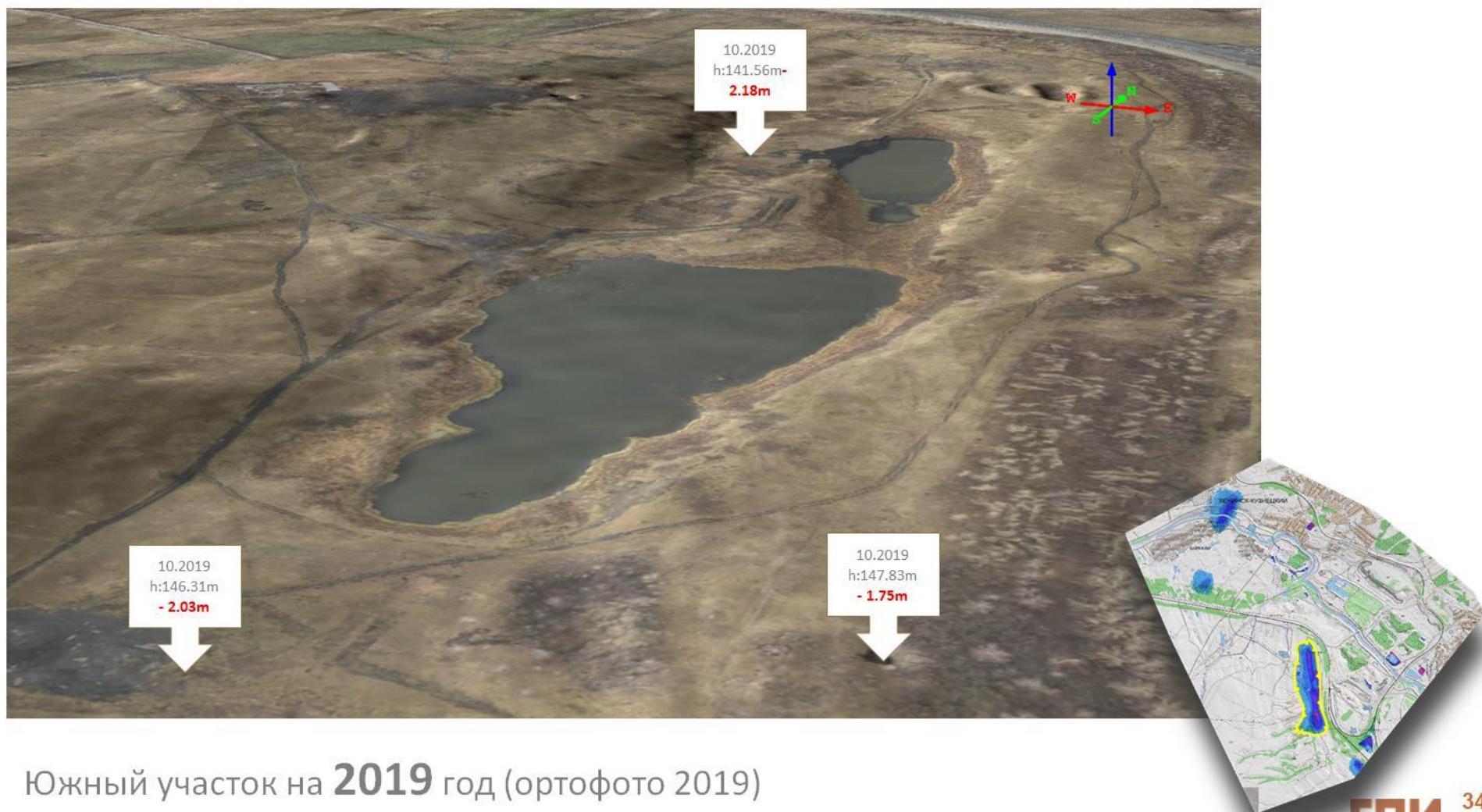
Демонстрация просадок грунта по участкам



Южный участок на **2018** год (ортофото 2019)

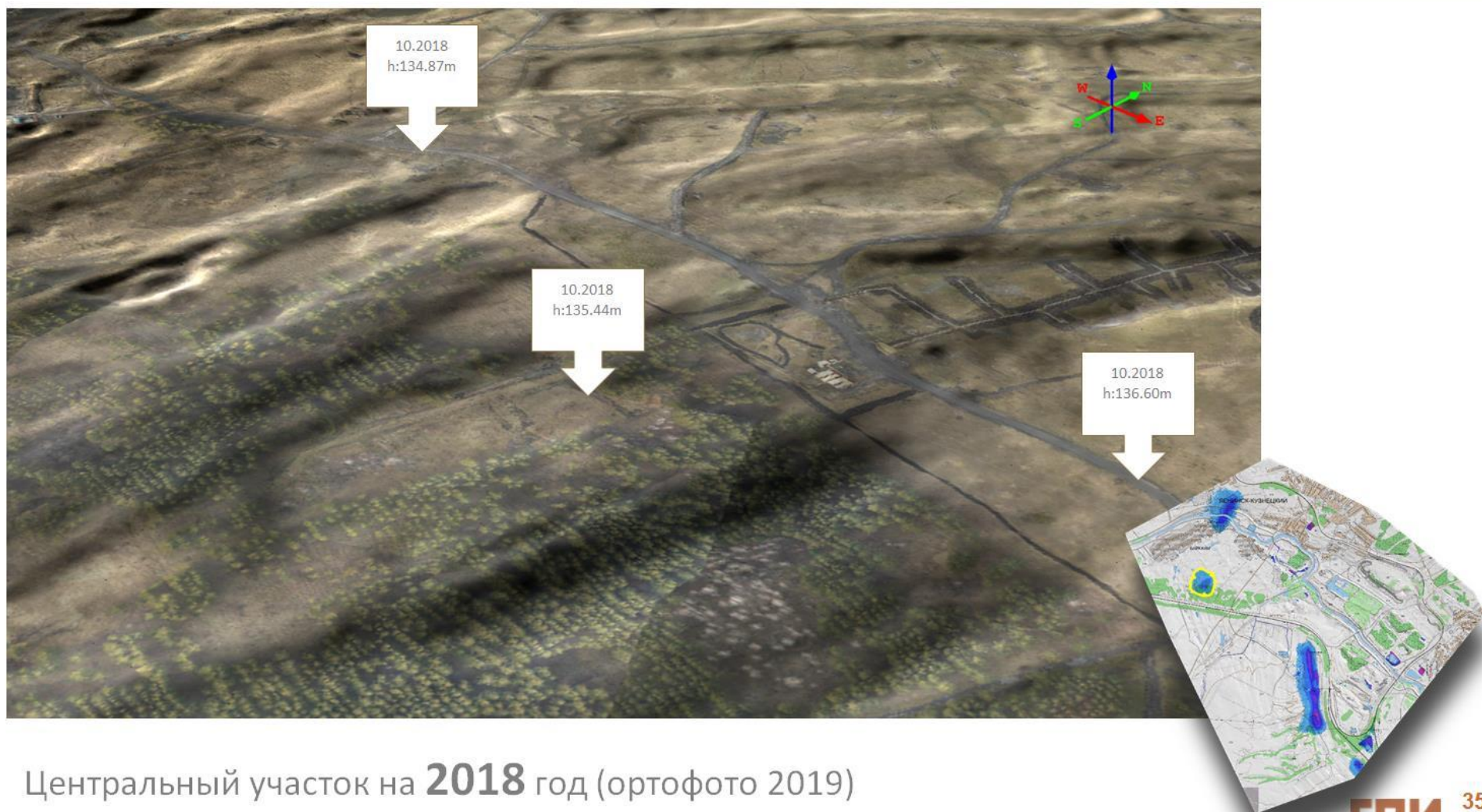
РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА

Демонстрация просадок грунта по участкам



РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА

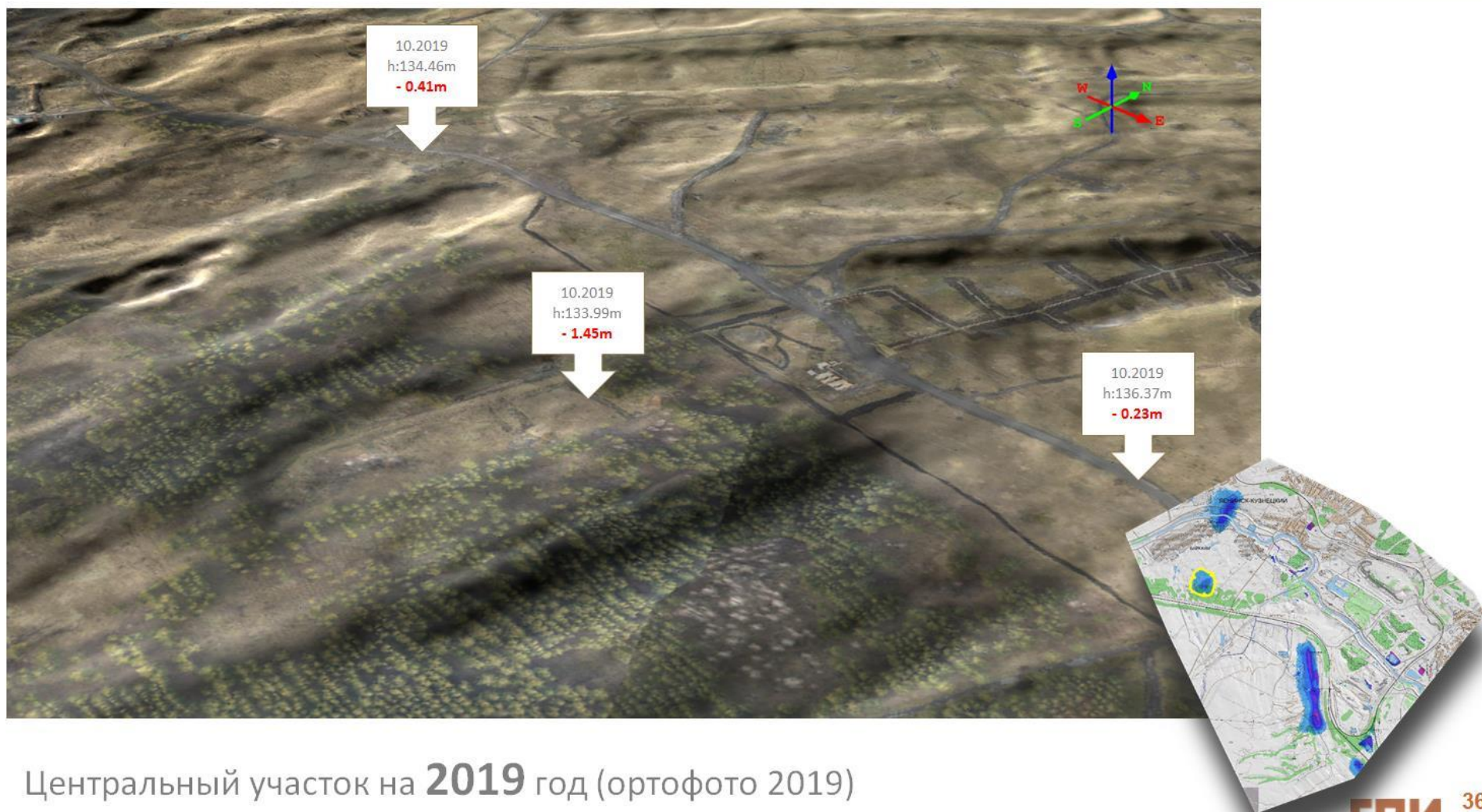
Демонстрация просадок грунта по участкам



Центральный участок на **2018** год (ортофото 2019)

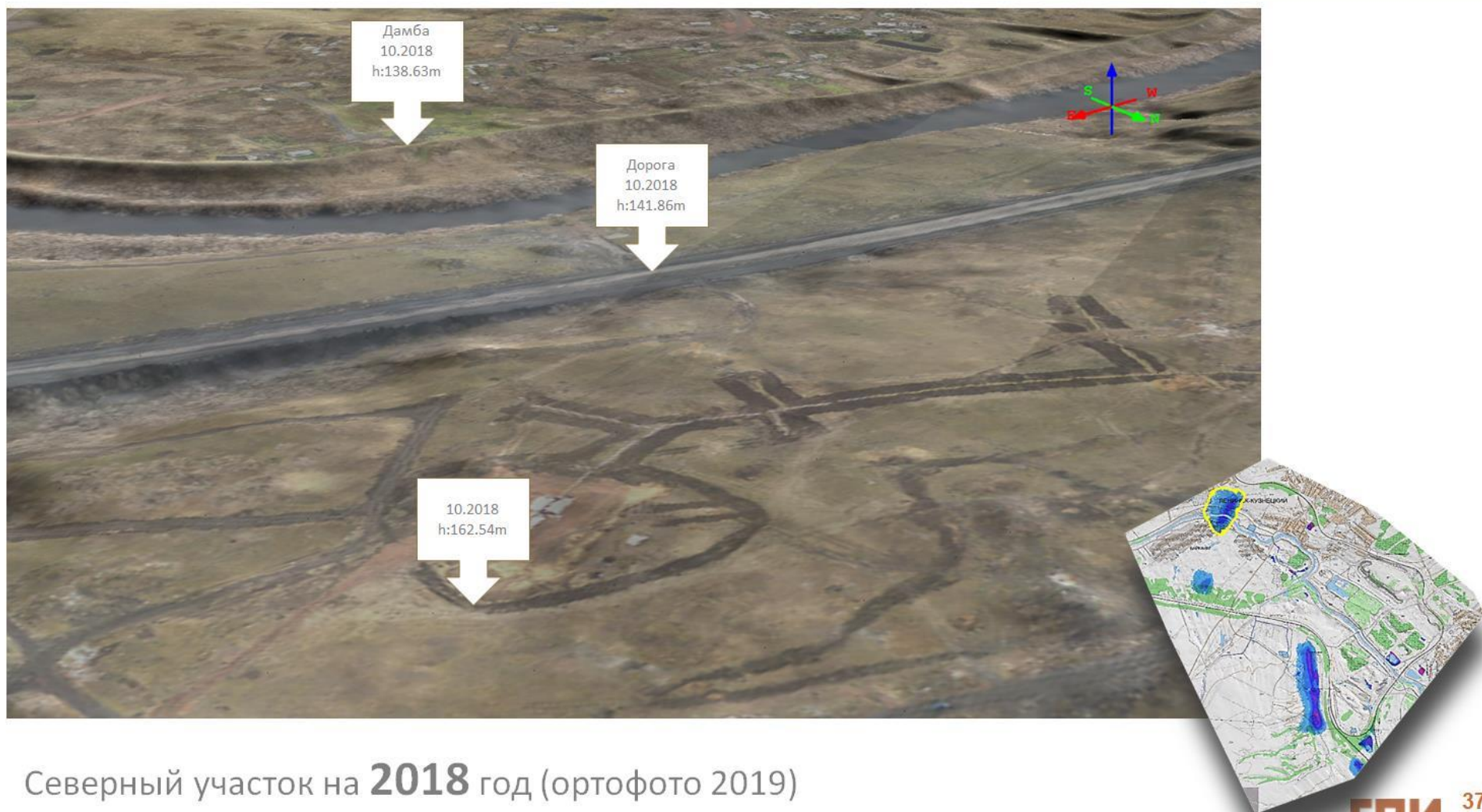
РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА

Демонстрация просадок грунта по участкам



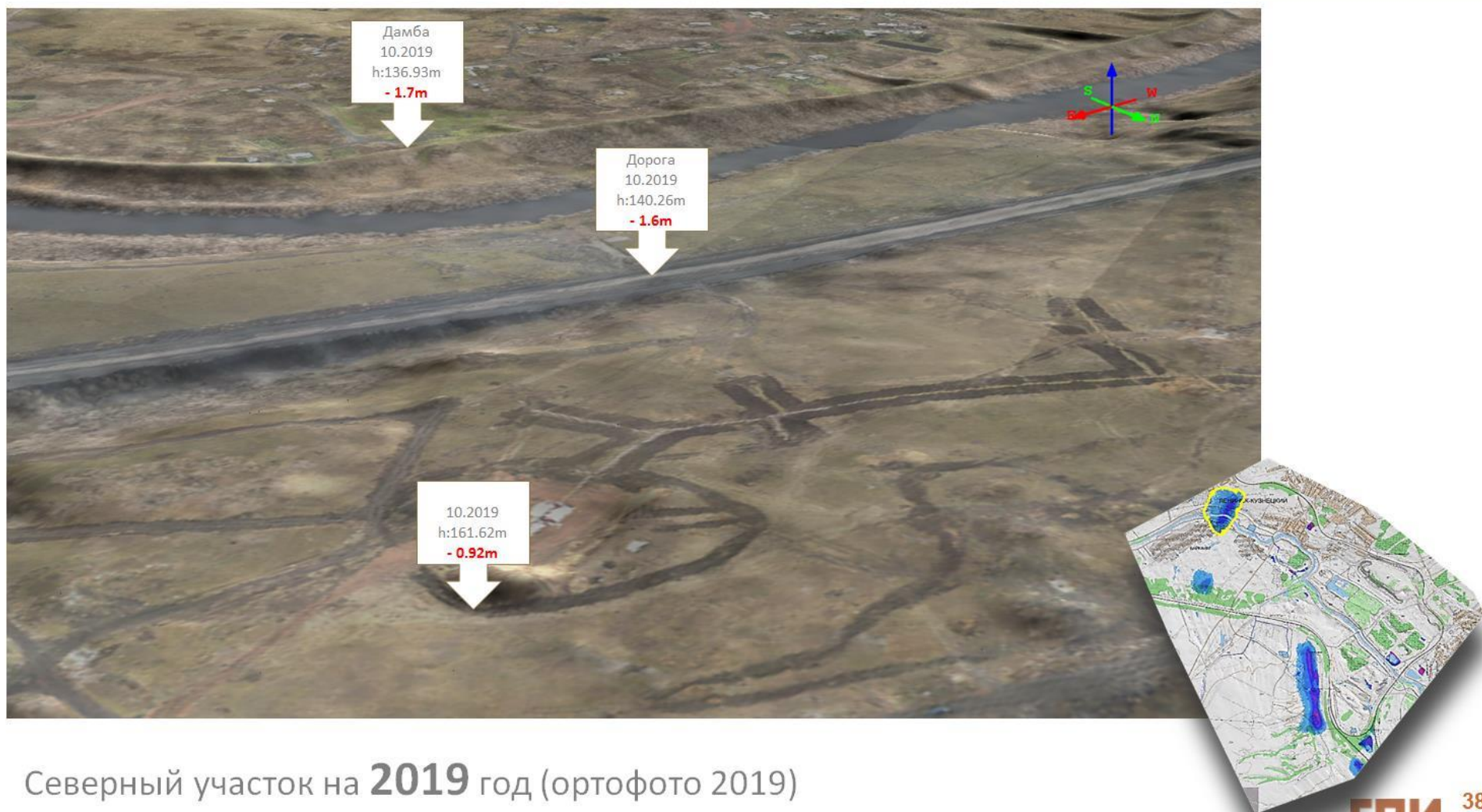
РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА

Демонстрация просадок грунта по участкам

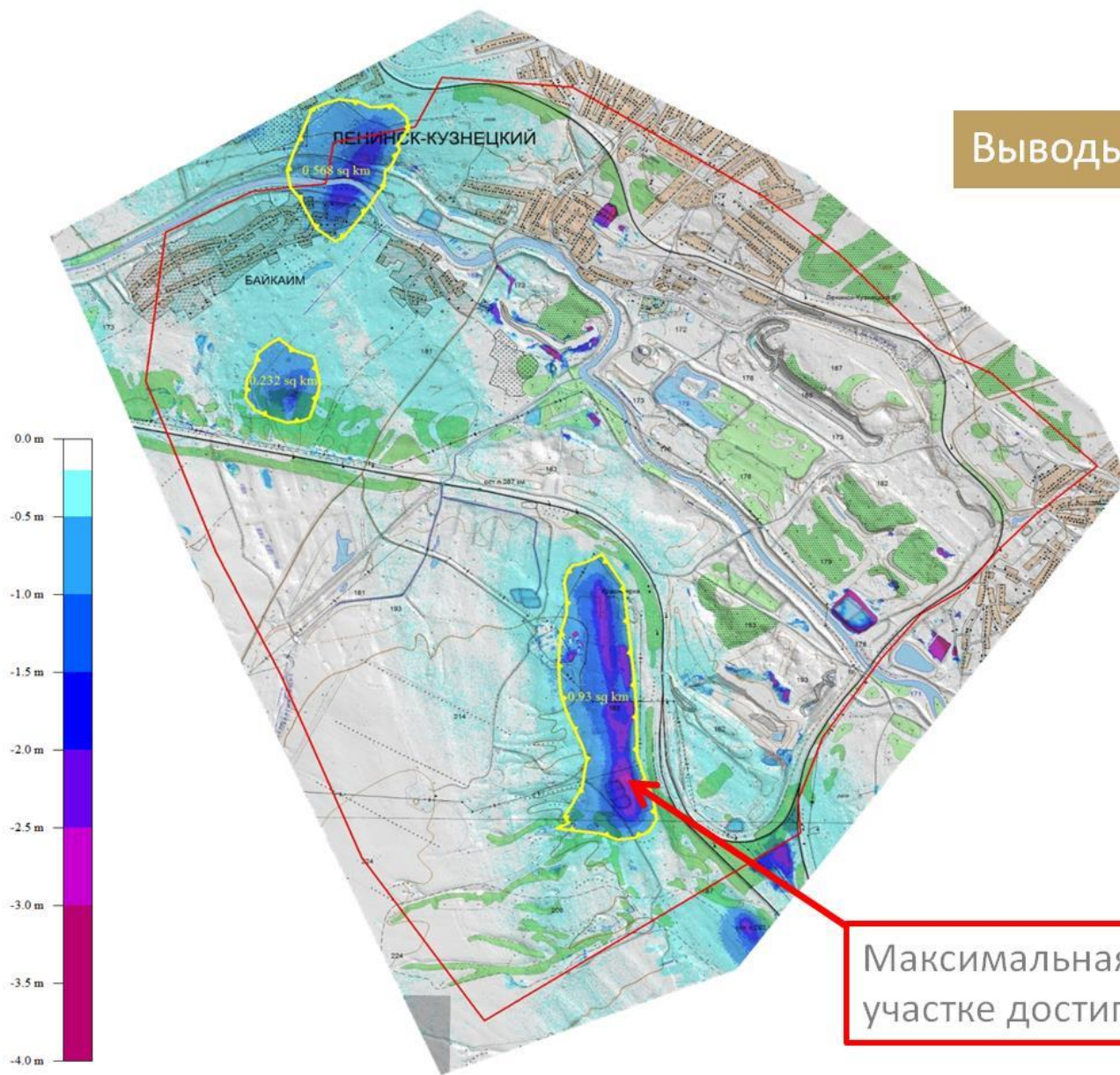


РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА

Демонстрация просадок грунта по участкам



ПРИМЕНЕНИЕ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА

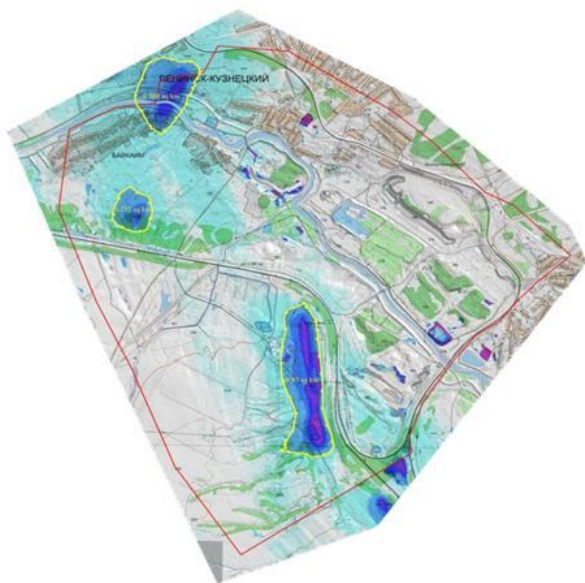


Выводы

В результате сравнения двух моделей рельефа за 2018 и 2019 годы выявлено несколько участков с просадками грунта глубиной более 30 см и 3 ярко выраженных участка с глубиной просадки грунта более 50 см **общей площадью около 170 гектар.**

Максимальная глубина просадки на южном участке достигает 4 м.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА



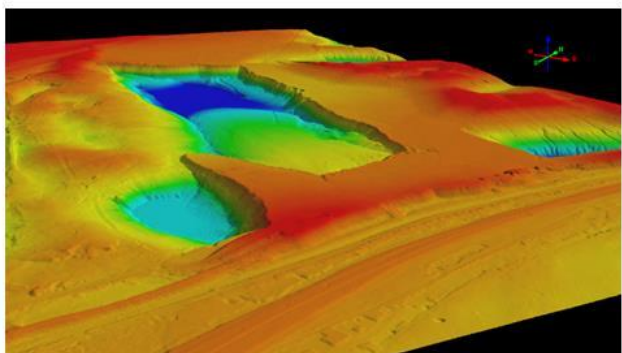
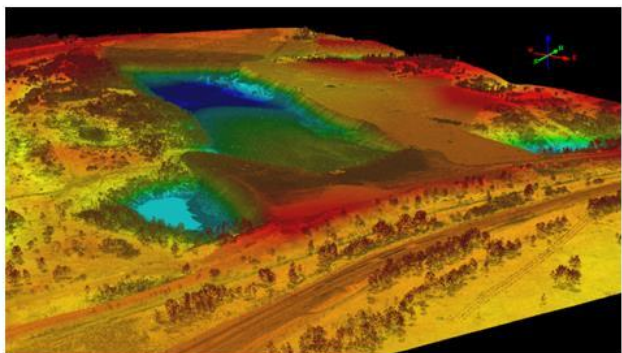
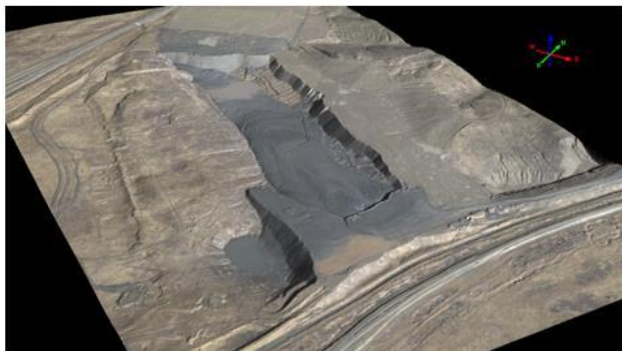
Выводы

Общий объем просадок на выделенных участках более 0,5 м составил около **1.7 млн м3.**

Сводная таблица просадок грунта по участкам

Название участка	Площадь участка, км2	Объем просадки, м3	Площадь просадки	Сравниваемая модель	Базовая модель	Средняя разница, м	Макс. насыпь, м	Макс. просадка, м
Северный	0.568	417 955	0.54	2019 год	2018 год	-0.73	2.812	-3.886
Центральный	0.2322	171 699	0.2308	2019 год	2018 год	-0.744	0.461	-2.653
Южный	0.93	1 083 267	0.924	2019 год	2028 год	-1.17	2.031	-4.991
Всего	1.73	1 672 920	1.69			-0.88	2.81	-4.99

ПРИМЕНЕНИЕ ВЛС И АФС ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРОСАДОК ГРУНТА



Преимущества применения технологии

ОПЕРАТИВНОСТЬ

Продолжительность аэросъемочных работ на площадь **26 кв.км.** составила по **1 аэросъемочному полету в октябре 2018 и 2019 года**

ПЛОТНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, полученные посредством воздушного лазерного сканирования, со средней точностью **20 см в плане и 10 по высоте** и плотностью до **12 т/м²** позволили не только полностью отобразить геометрические параметры объекта и создать высокодетальную ЦМР за оба года, но и провести сравнение обеих моделей и выявить все изменения, произошедшие за год.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СЪЕМКИ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Полностью цифровой формат данных позволил максимально ускорить и автоматизировать процесс их обработки, и исключить влияние субъективных факторов на результат.

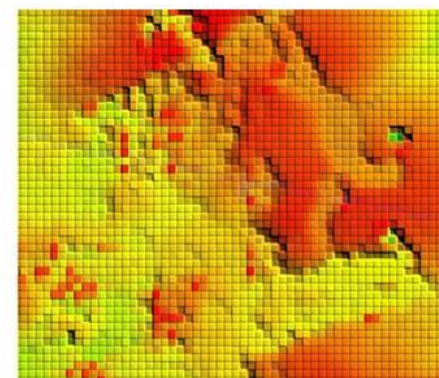
Выводы

Междисциплинарность метода

Лазерное сканирование в изысканиях становится все более популярным, но в целях выявления опасных геологических процессов (ОГП) в нашей стране используется пока крайне редко.

Хотя, с точки зрения оптимизации времени и финансовых затрат на комплексные инженерные изыскания, целесообразно уже на этапе инженерно-геодезических изысканий (ИГДИ) использовать именно воздушное лазерное сканирование (ВЛС), которое позволит не только оперативно создавать точные топографические планы масштабов от 1:10000 до 1:500, но и получать высокодетальную ЦМР для дальнейшего выявления по ней ОГП таких как карст и оползни.

В рамках инженерно-геологических изысканий (ИГИ) это **не потребует никаких дополнительных вложений** на полевое карстологическое обследование местности и кардинально ускорит и качественно повысит результаты исследований на карст особенно при выполнении ИГИ проектируемых протяженных линейных объектов.





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

