



ИНСТИТУТ ГЕОЭКОЛОГИИ им. Е.М.Сергеева
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Вознесенский Е.А., Викторов А.С., Орлов Т.В., Сергеев Д.О.

Применение технологий дистанционного
зондирования
при эксплуатации автомобильных дорог в
криолитозоне



Примеры деформаций дорожного полотна на автодороге «Амур»



Цель - показать возможности применения технологий дистанционного зондирования при эксплуатации автомобильных дорог в криолитозоне

Уровни решения задач с применением технологий дистанционного зондирования при эксплуатации автомобильных дорог в криолитозоне

Региональный уровень

Детализируется дорожно-климатическое районирование с учётом результатов мелкомасштабного геокриологического прогноза изменения фоновых геокриологических условий, вызванных климатическими переменами. Определяются актуальные и прогнозируемые тенденции изменения геокриологических условий и определяется перечень неблагоприятных процессов в привязке к существующим элементам дорожно-климатического районирования.

Уровень автодороги

Решение концентрируется на комплексной сравнительной оценке ландшафтно-геокриологических условий и развития очагов активных криогенных процессов. Результатом является предварительная диагностика ведущего процесса деформации насыпи. Эта диагностика опирается на ландшафтно-геокриологическое районирование трассы в масштабе 1:500 000 – 1: 25 000 и нацелена на обоснование территориальных приоритетов, в частности, расположения автоматизированных постов геотехнического мониторинга.

Уровень участка с массовыми деформациями

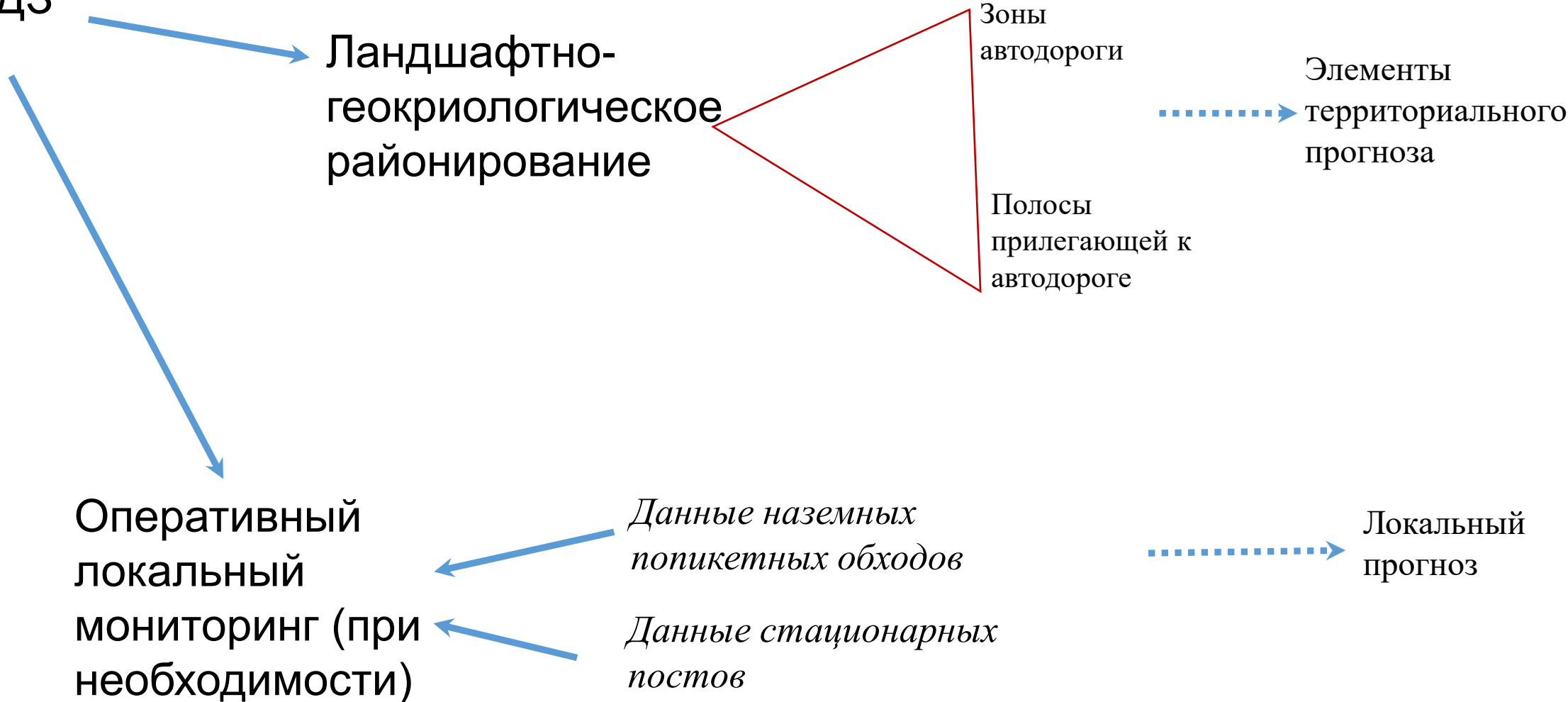
Выполняется анализ местоположения очагов проявления криогенных процессов с отражением временной изменчивости и других характеристик. Оно нацелено на обоснование местоположения автоматизированных постов геотехнического мониторинга.

Уровень автоматизированного поста

Выполняется анализ площадки размещения поста и прилегающей окрестности, анализируется динамика отдельных очагов проявления криогенных процессов; получается детальная информация по полосе автодороги на основе дистанционного зондирования., определяющий основные элементы природно-технической системы, В результате на основе комплексирования с данными наземных контактных исследований определяется разрез основания автодороги и положение точек наблюдения (скважин), уточняется диагноз ведущего криогенного процесса для организации наблюдений и область прогнозного моделирования.

Работы с применением технологий дистанционного зондирования при сопровождении эксплуатации автомобильных дорог на территории криолитозоны

Данные ДДЗ



Основные элементы методики ландшафтно-геокриологического районирования:

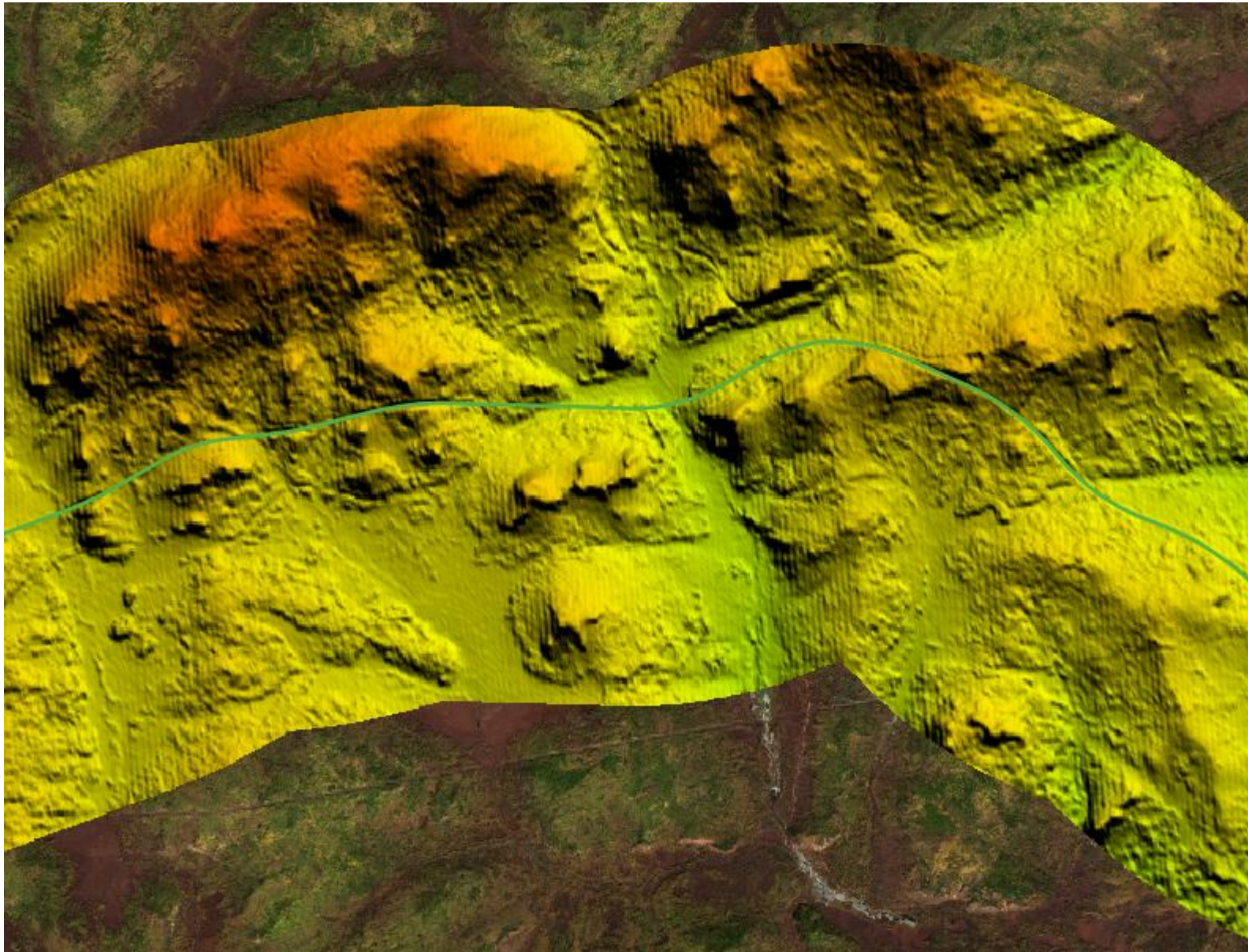
- I
- создание **предварительной схемы** дешифрирования ландшафтных и геокриологических условий и процессов **зоны автодороги**,
 - изучение факторов развития негативных геокриологических процессов в рамках предварительной схемы **зоны автодороги**,
 - выделение существующих процессов и изменений геокриологических условий по материалам дистанционных съемок в **полосе, непосредственно прилегающей к автодороге**
- II
- **комплексный анализ** ландшафтных и геокриологических условий и **оценка предпосылок** развития геокриологических процессов **в зоне автодороги**
 - **комплексный анализ** ландшафтных и геокриологических условий и данных мониторинга полотна и **оценка степени опасности**, связанной с развитием геокриологических процессов **в полосе, непосредственно прилегающей к автодороге**
 - разработка **схемы** ландшафтных и геокриологических условий зоны автодороги

Материалы:

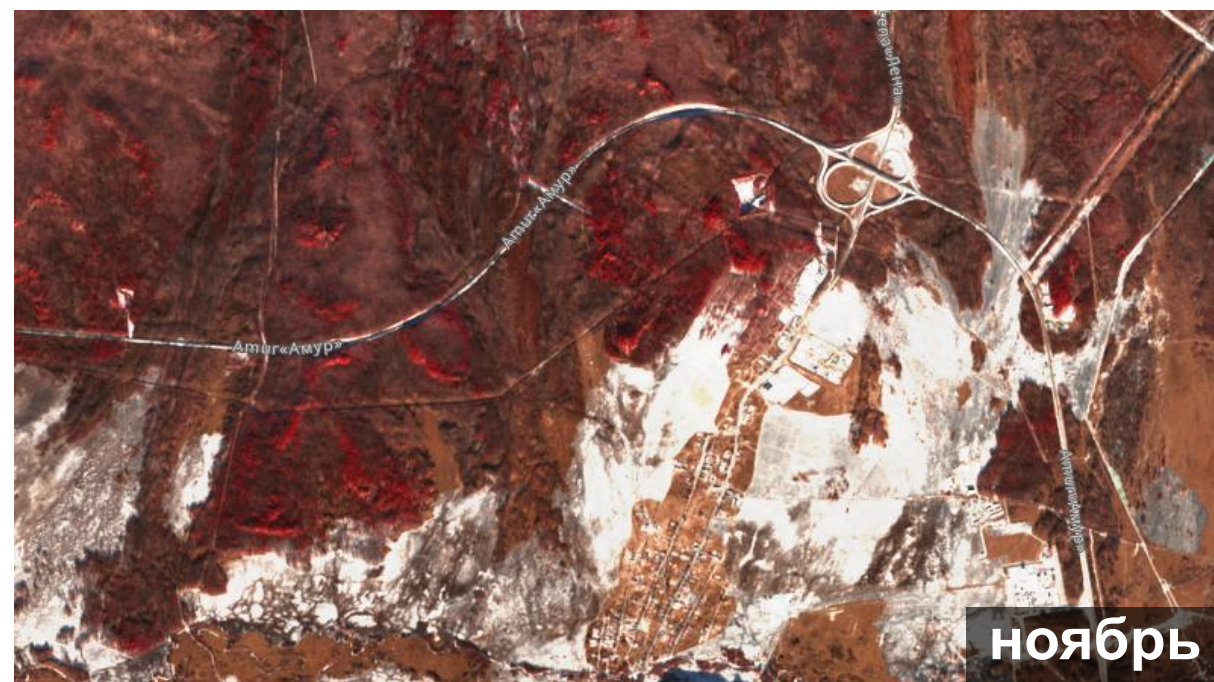
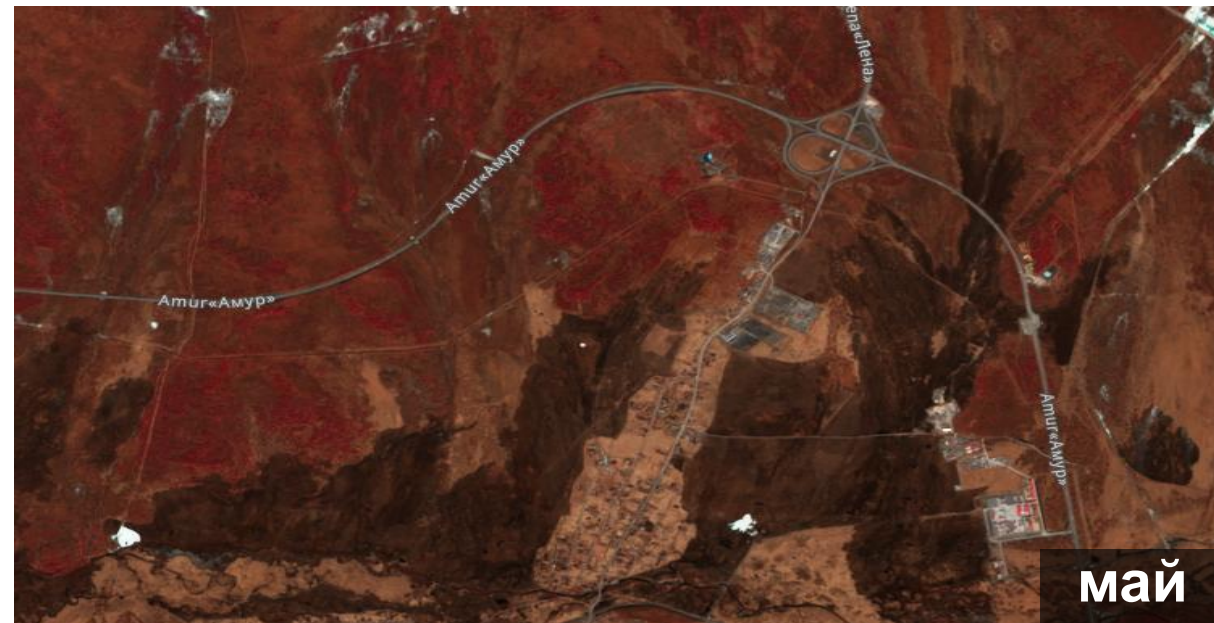
- материалы дистанционного зондирования (Sentinel 2A, Corona, WorldView-2, GeoEye-1);
- цифровые модели рельефа (Copernicus DEM);
- фоновые материалы инженерно-геологических и инженерно-геодезических изысканий;
- фоновые материалы по состоянию участков дорожного полотна;
- фоновые картографические материалы: государственные геологические карты дочетвертичных отложений; государственные геологические карты четвертичных отложений; геоморфологические схемы к государственным геологическим картам; эколого-геологические схемы; геокриологические карты; карты растительности; ландшафтные карты.

Материалы дистанционного зондирования

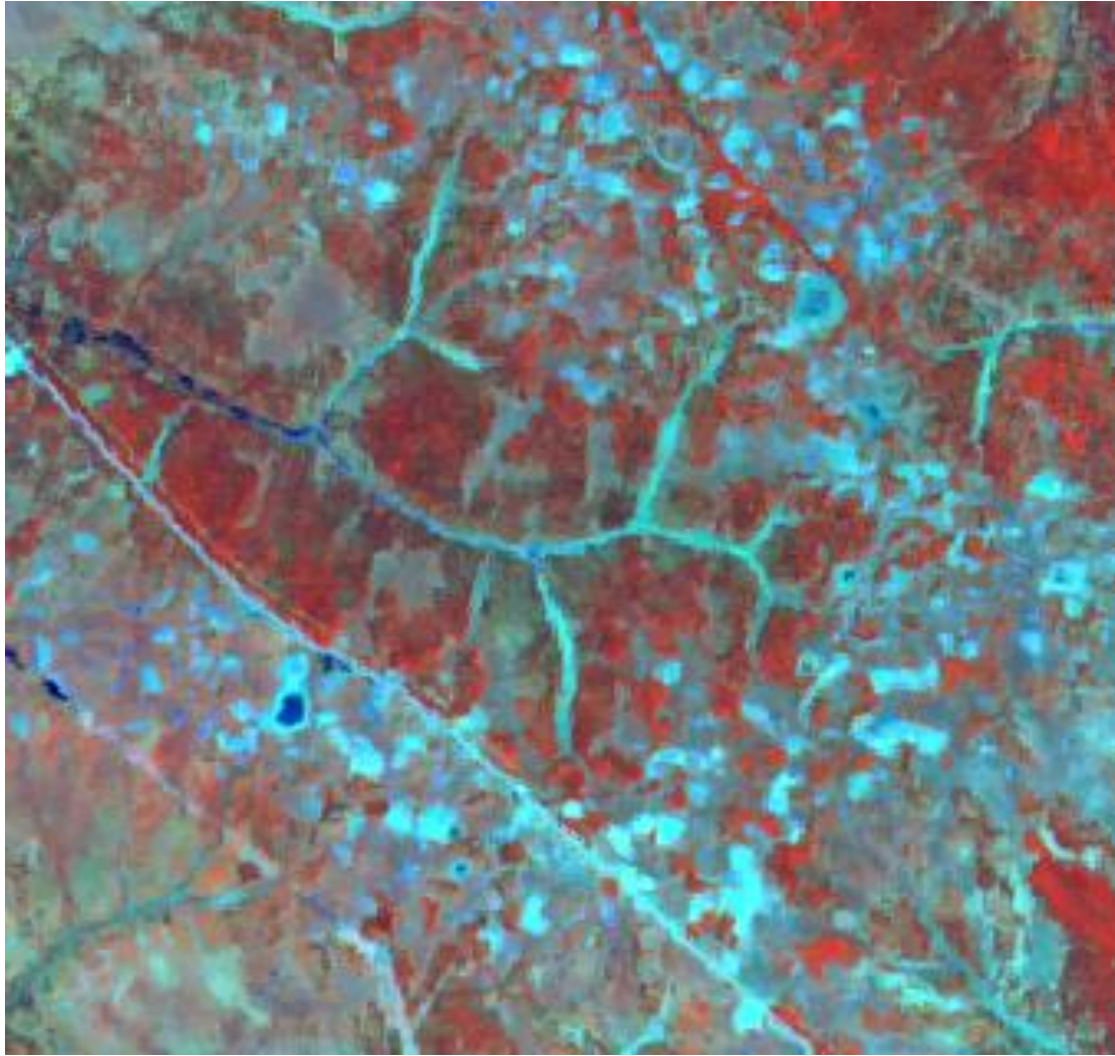
Примеры изображений полосы трассы на цифровой модели рельефа



Оптическая мультиспектральная разносезонная съемка



Примеры изображений участков с разными типами ландшафтно-геокриологических условий на разных синтезах каналов мультиспектрального космического снимка



Космические снимки высокого разрешения



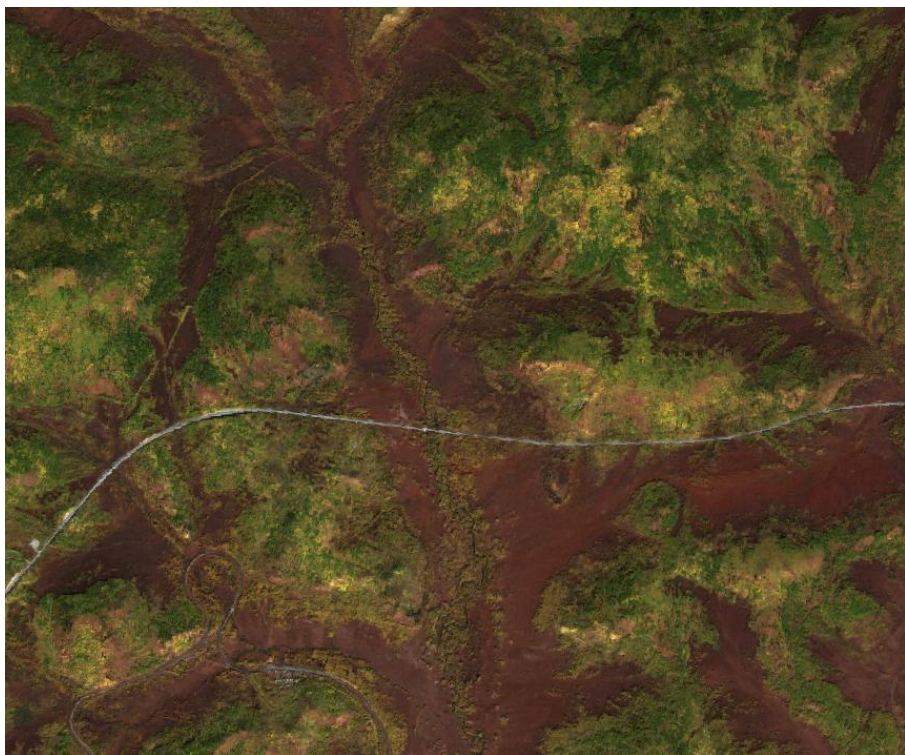
Детальная аэросъемка



Дешифрирование материалов дистанционного зондирования

Дешифрирование материалов дистанционного зондирования

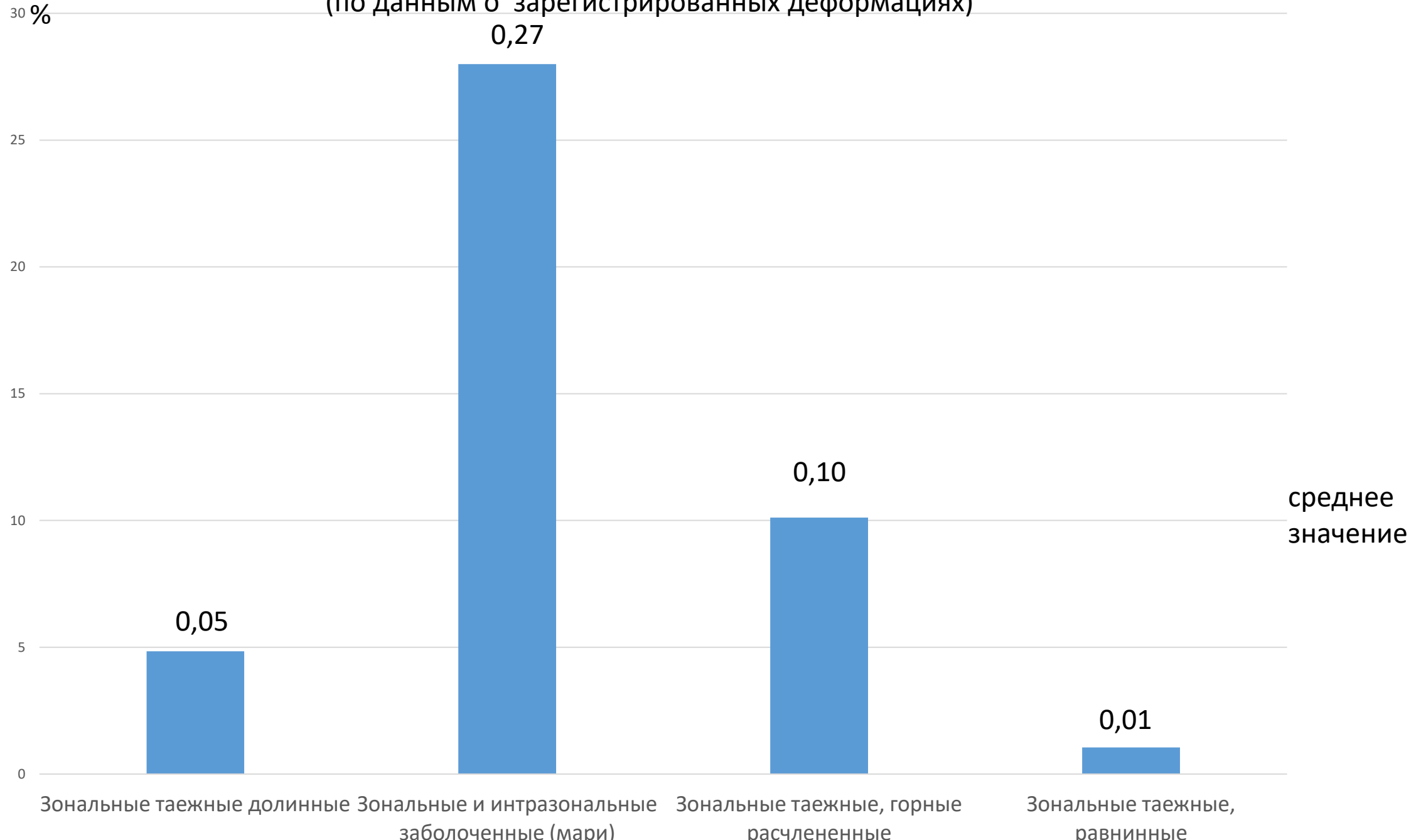
Дешифрирование базируется на разработанном и используемом в инженерной геологии **индикационном принципе**:

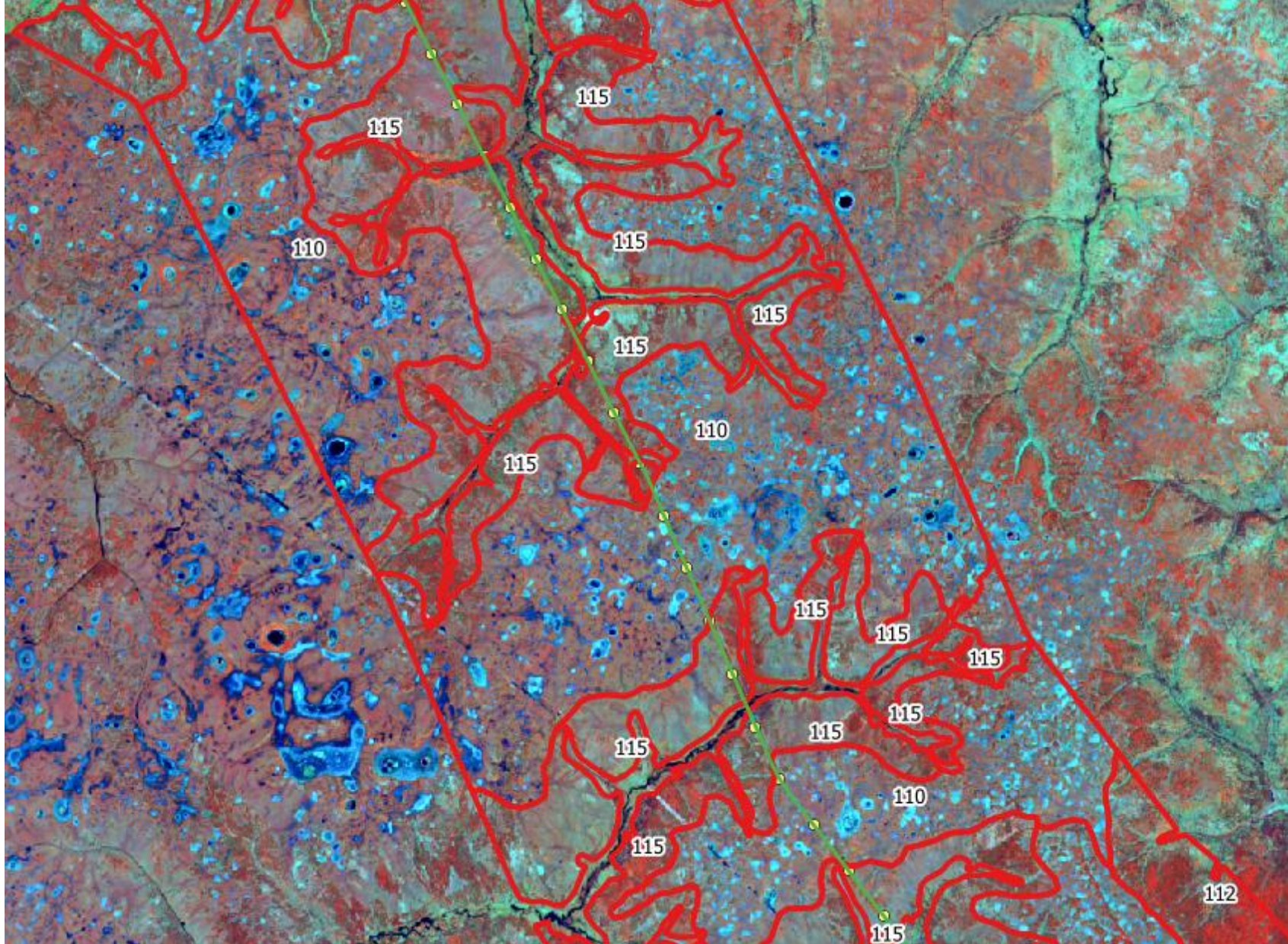


Внешний облик ландшафта, отраженный снимком, указывает

- на комплекс **геокриологических условий** участка,
- на набор развитых **опасных геокриологических процессов**
- на **различия во взаимодействии** автодороги с подстилающими многолетнемерзлыми породами и соответственно на возможность развития различных процессов в процессе дальнейшей эксплуатации

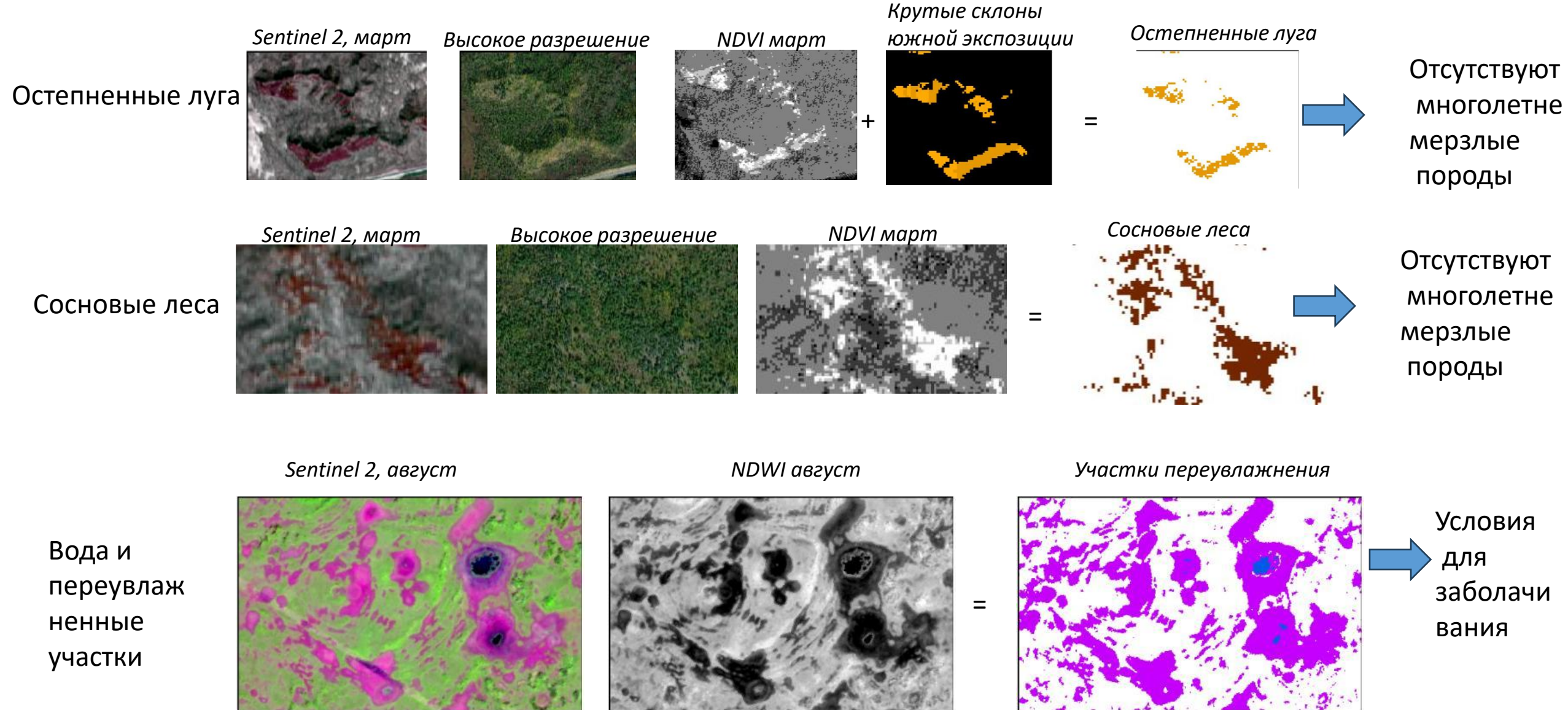
Условная вероятность (частота) деформаций полотна автодороги в пределах разных групп ландшафтов
(по данным о зарегистрированных деформациях)





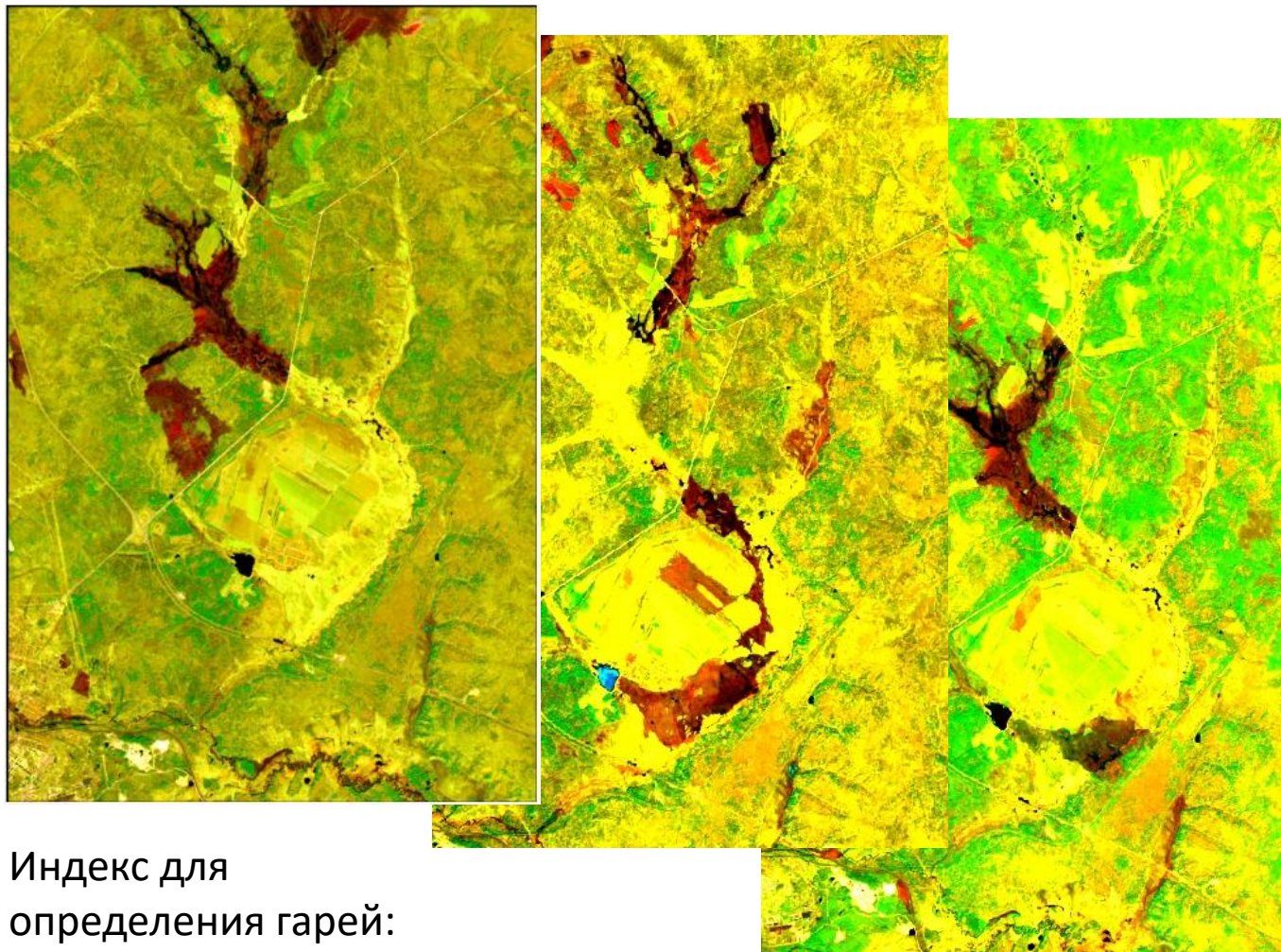
Примеры дешифрирования участков с разными типами ландшафтно-геокриологических условий на синтезе каналов мультиспектрального космического снимка

Использование высокоуровневых подходов дешифрирования отдельных ландшафтных элементов, значимых для геокриологического районирования



Использование высокоуровневых подходов дешифрирования отдельных ландшафтных элементов, значимых для геоэкологического районирования

Пожары на майских снимках Sentinel-2



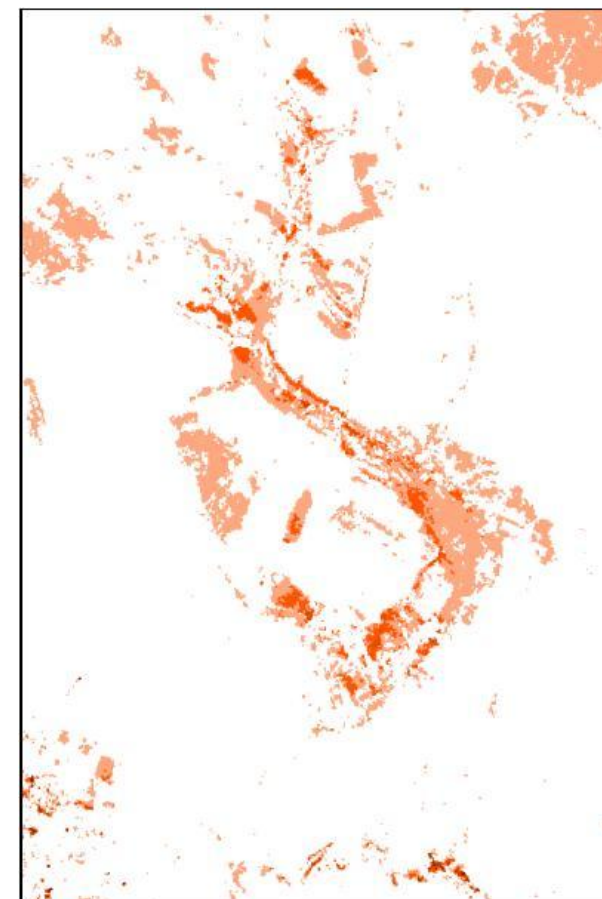
Индекс для
определения гарей:

NIR - SWIR

NBR = -----

NIR + SWIR

Сгоревшие площади за 5 лет



количество пожаров



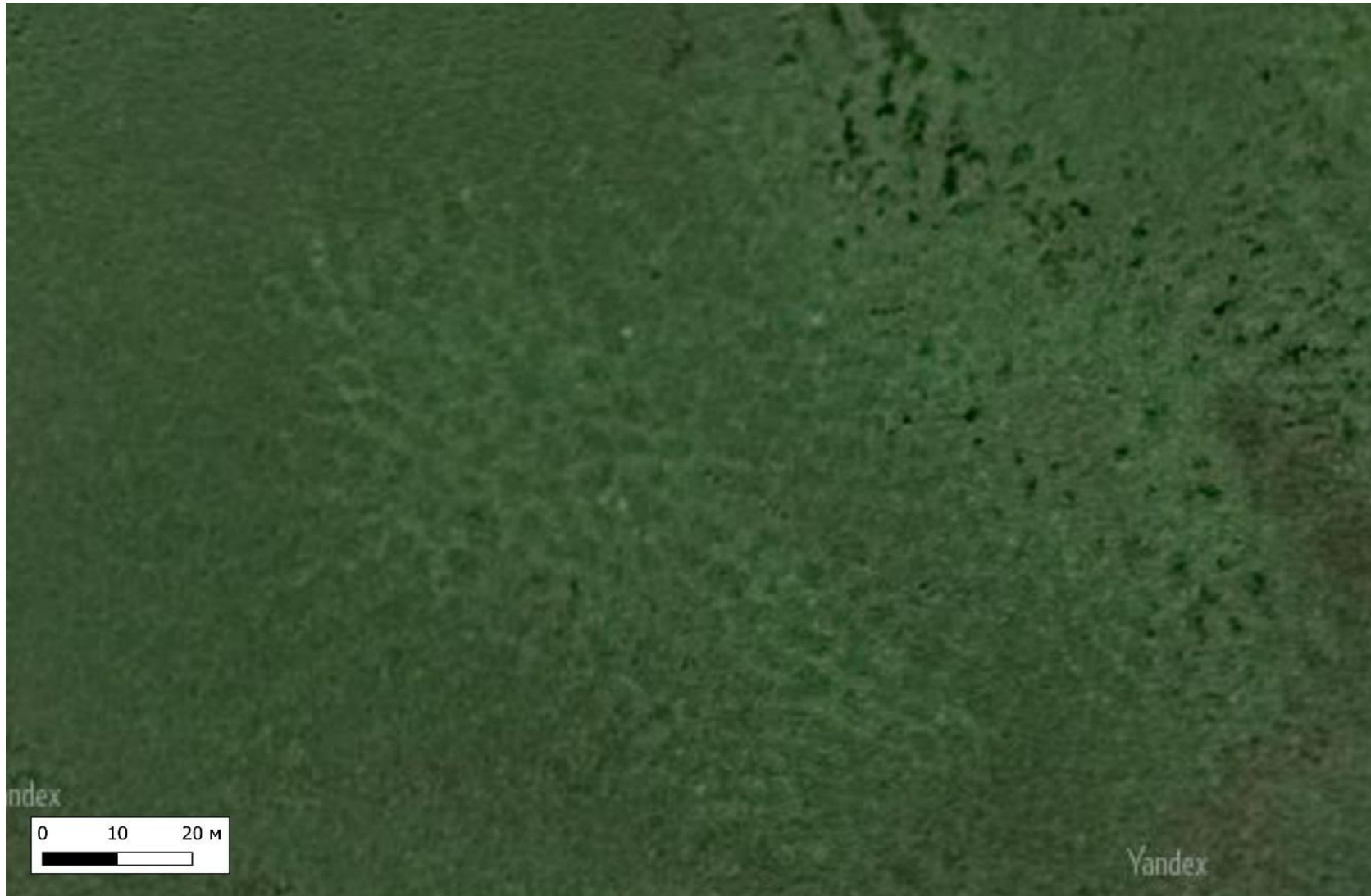
Предпосылки
для деградации
мерзлоты

Примеры изображений очагов опасных геокриологических процессов, в полосе трассы, непосредственно прилегающей к автодороге



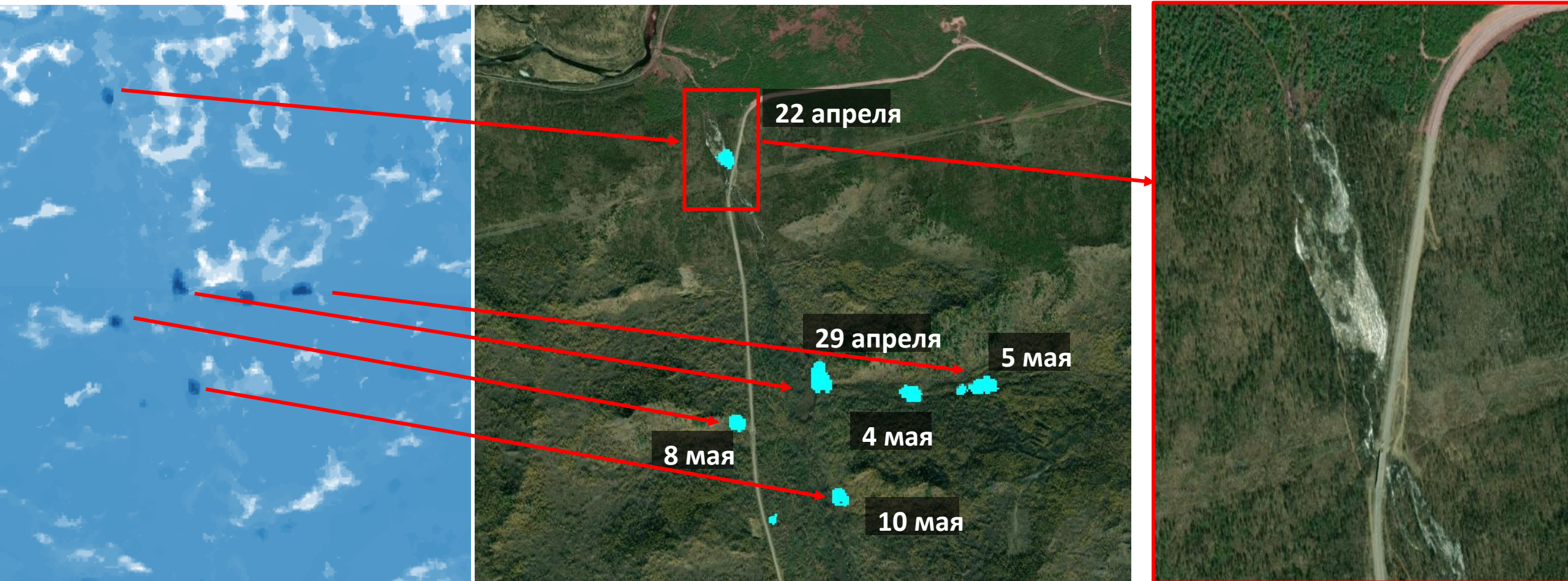
тепловые просадки (разрешение снимка 0,5-1 м)

Примеры изображений очагов опасных геокриологических процессов, в полосе трассы, непосредственно прилегающей к автодороге



полигонально-жильные структуры, вытаивание (разрешение снимка 0,5-1 м)

Автоматизированное дешифрирование наледей по длительности залегания снежного покрова в весенний период



Факторы развития экзогенных процессов

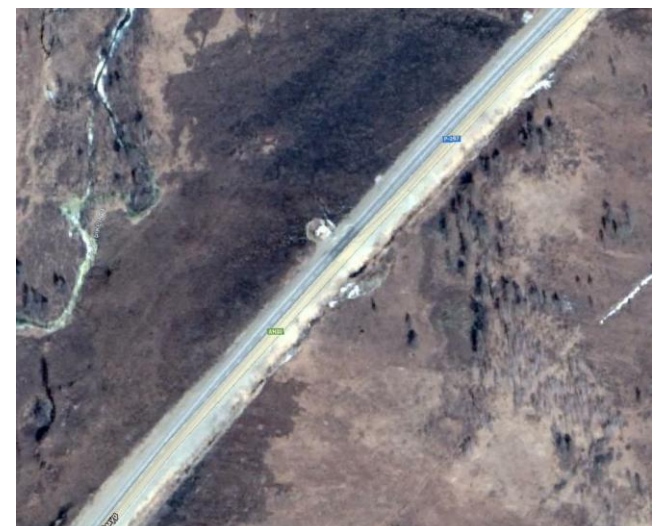
Нарушение естественного стока как фактор наледообразования



Оттаивание льдистых грунтов как фактор просадок поверхности в ненарушенных ландшафтах и в пределах дорожных конструкций



Подтопление как фактор тепловых осадок грунта



Идентификация явлений, обусловленных криогенными процессами



Наледеобразование при
перемерзании грунтового стока
осенью



Следы ремонта на участках тепловой
осадки насыпи



Полигонально-жильные структуры,
проявляющиеся при многолетнем
оттаивании вечной мерзлоты



Чётковидный сток,
свидетельствующий о термокарсте по
повторно-жильным льдам



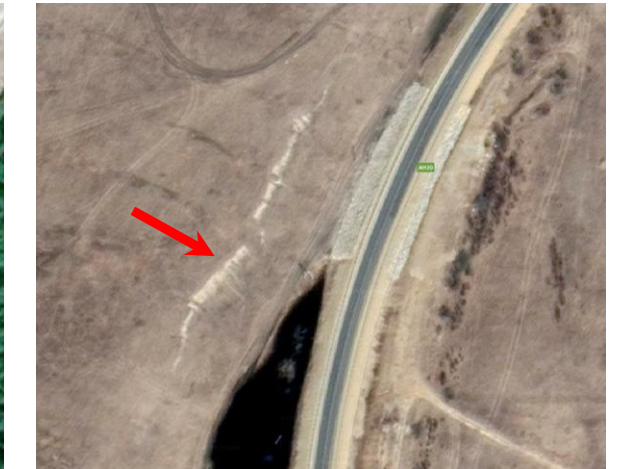
Трещины отседания,
свидетельствующие о развитии
термокарста



Формы многолетнего пучения на
зоторфованных отложениях

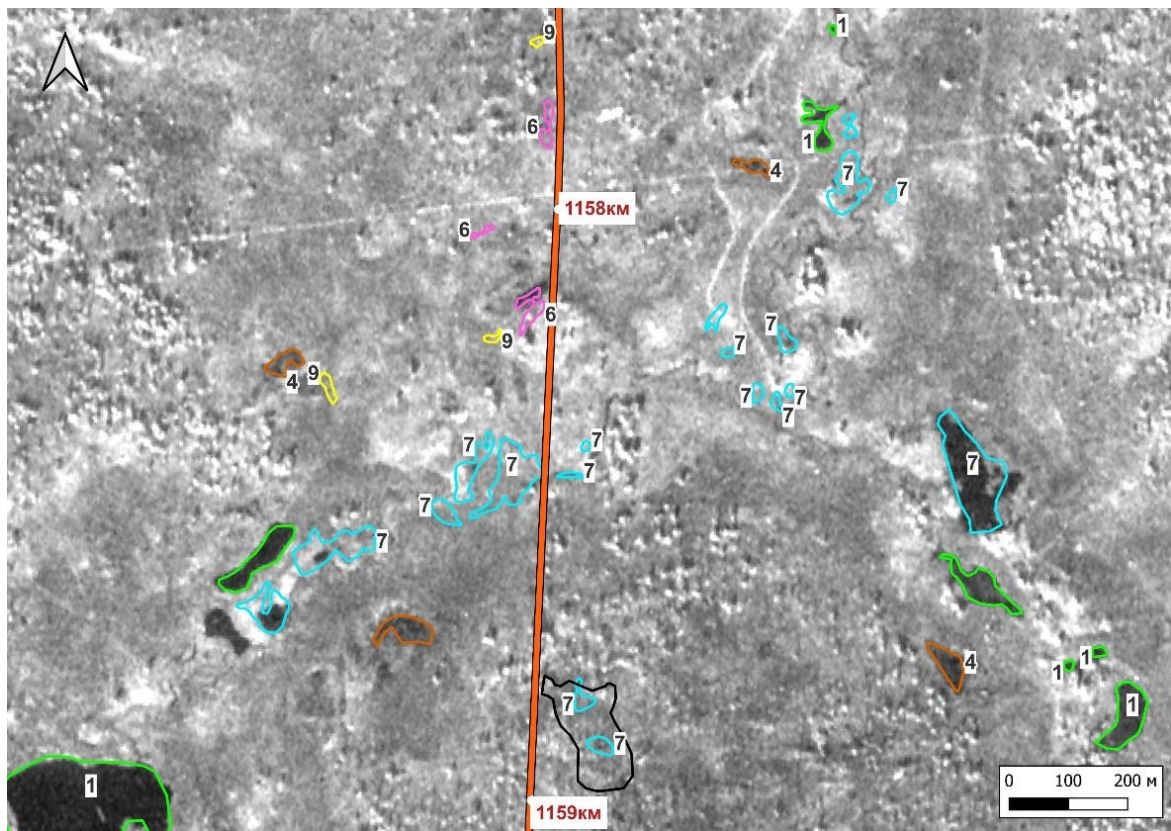


Сгущение трещин на дорожном
полотне, свидетельствующее о
деформациях насыпи



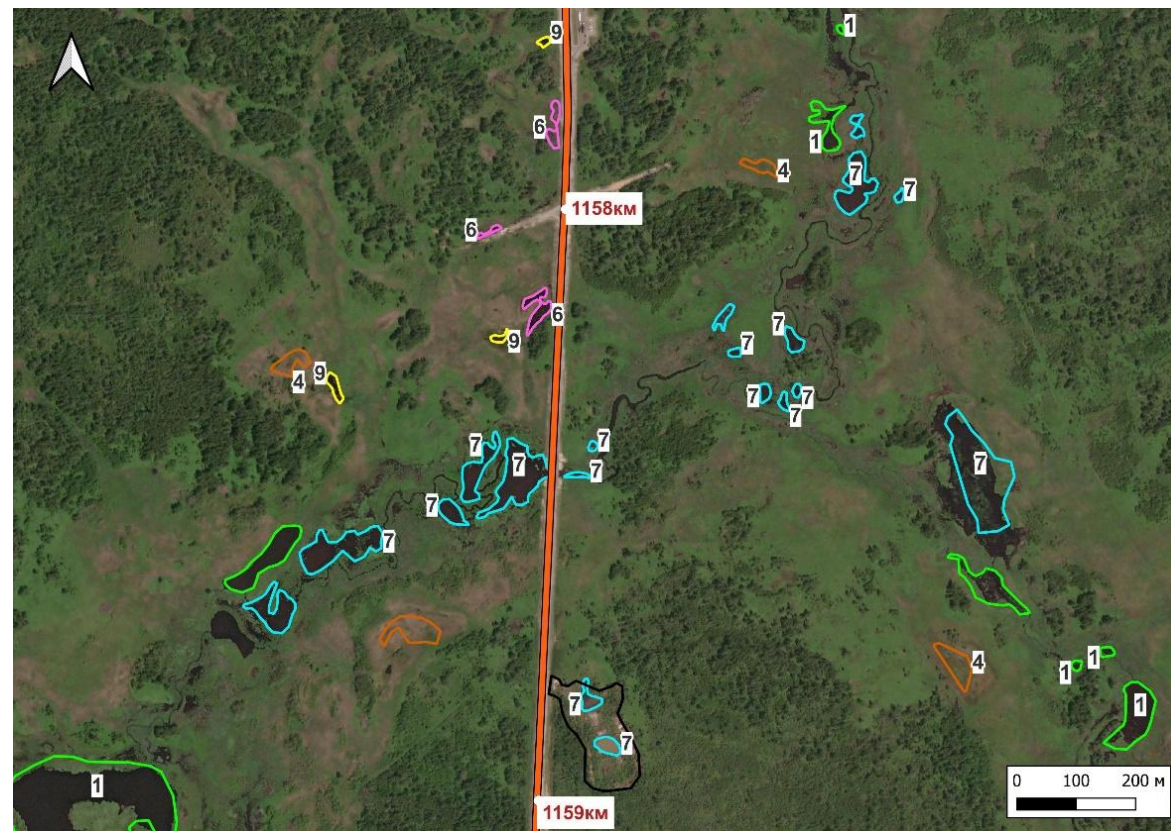
Разрушения откосов выемки
вследствие развития эрозионных
процессов и солифлюкции

Примеры дешифрирования изменений, в полосе трассы непосредственно прилегающей к автодороге, по материалам повторных съемок



1970 г.

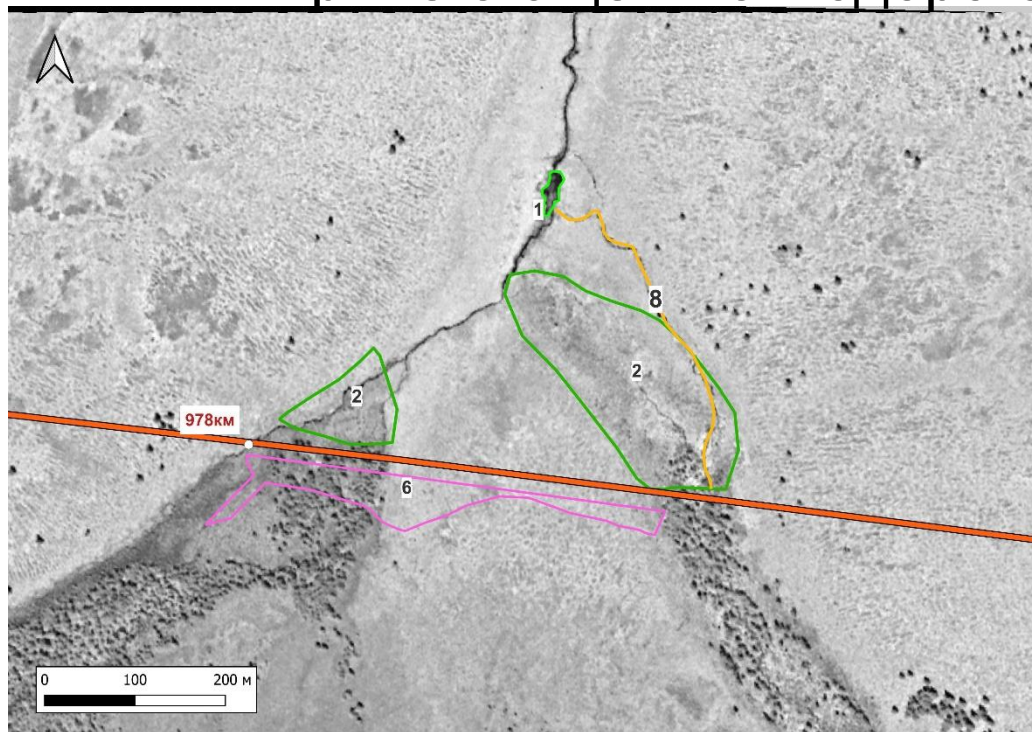
(до строительства дороги)



Современное состояние

- пикеты
- трасса
- Процессы
- 1 - заболачивание
- 2 - зарастание лесом
- 3 - антропогенные изменения, карьеры
- 4 - осушение озера
- 5 - переувлажнение
- 6 - подтопление
- 7 - обводнение
- 8 - пересыхание ручья
- 9 - термокарстовые просадки

Примеры дешифрирования изменений, в полосе трассы непосредственно прилегающей к автодороге, по материалам повторных съемок



1970 г.
(до строительства дороги)



Современное состояние

- пикеты
- трасса
- Процессы
- 1 - заболачивание
- 2 - зарастание лесом
- 3 - антропогенные изменения, карьеры
- 4 - осушение озера
- 5 - переувлажнение
- 6 - подтопление
- 7 - обводнение
- 8 - пересыхание ручья
- 9 - термокарстовые просадки

Комплексный анализ и оценка ландшафтных и геокриологических условий

- комплексный анализ ландшафтных и геокриологических условий и оценка предпосылок развития геокриологических процессов в зоне автодороги
- комплексный анализ ландшафтных и геокриологических условий и данных мониторинга полотна и оценка степени опасности, связанной с развитием геокриологических процессов в полосе, непосредственно прилегающей к автодороге
- разработка схемы ландшафтных и геокриологических условий зоны автодороги

Факторы предрасположенности к развитию опасных геокриологических процессов

- наличие проявлений геокриологических процессов;
- наличие факторов, способствующих развитию геокриологических процессов;
- наличие условий, создающих предпосылки возникновения и развития геокриологических процессов.

1 категория предрасположенности к развитию опасных геокриологических процессов

- наличие на отдельных участках факторов, способствующих развитию геокриологических процессов;
- наличие на отдельных участках факторов, создающих предпосылки возникновения и развития геокриологических процессов;
- отдельные проявления геокриологических процессов

2 категория предрасположенности к развитию опасных геокриологических процессов

- наличие ряда факторов, способствующих развитию геокриологических процессов;
- наличие ряда факторов, создающих предпосылки возникновения и развития геокриологических процессов;
- проявления геокриологических процессов.

3 категория предрасположенности к развитию опасных геокриологических процессов

- сочетание значительного числа факторов, способствующих развитию разных видов опасных геокриологических процессов;
- сочетание значительного числа факторов, создающих предпосылки возникновения и развития разных видов опасных геокриологических процессов;
- многочисленные проявления различных видов опасных геокриологических процессов.

Критерии опасности для конкретного участка автодороги:

- количество встречающихся видов процессов;
- степень опасности процессов;
- плотность расположения очагов по каждому процессу;
- наличие факторов, способствующих развитию геокриологических процессов и (при наличии данных) динамичность очагов;
- наличие и масштабы развития признаков деформации дорожных одежд и земляного полотна.

Повышенная степень опасности участка

- сочетание факторов, способствующих развитию нескольких видов геокриологических процессов, или их предпосылок;
- наличие многочисленных проявлений (очагов) геокриологических процессов или проявлений значительных размеров;
- наличие нескольких видов геокриологических процессов;
- наличие признаков значительных деформации покрытия и земляного полотна.

Средняя степень опасности участка

Сочетание трех условий :

- наличие отдельных факторов, способствующих развитию нескольких видов геокриологических процессов, или их предпосылок;
- наличие отдельных проявлений (очагов) геокриологических процессов;
- наличие признаков деформации покрытия и земляного полотна.

Пониженная степень опасности участка

Проявление двух из трех условий :

- наличие отдельных факторов, способствующих развитию нескольких видов геокриологических процессов, или их предпосылок;
- наличие отдельных проявлений (очагов) процессов;
- наличие признаков деформации покрытия и земляного полотна

Рассматриваемые типы деформаций

1 – Просадки земляного полотна (волны)



Искажение продольного и поперечного профилей покрытия в виде впадин с пологими краями, нередко сопровождающееся сеткой трещин

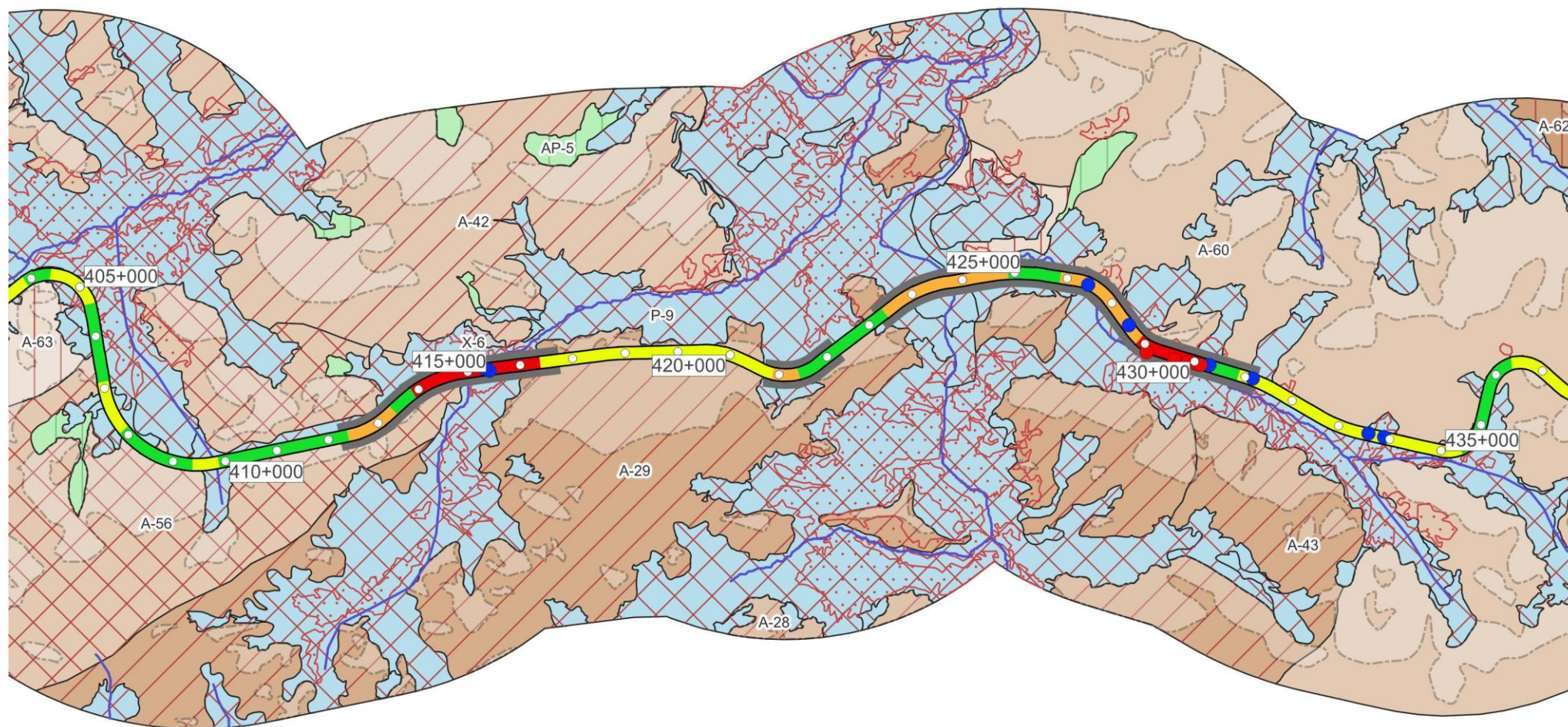
2 – Трещины



Нарушение целостности покрытия без удаления материала с образованием узких щелей. Трещины произвольного очертания и расположения с шириной раскрытия более 3 мм на покрытии проезжей части с образованием углублений по полосам наката с гребнями или без гребней выпора

Оценка опасности участков трассы





1 0 1 2 KM

Схема ландшафтных и геокриологических условий полосы автодороги Чита-Хабаровск (км 380 - км 678, км 756 – км 1325) в масштабе 1:100 000 (фрагмент)



Условные обозначения

Ландшафты

Зональные таежные горные расчлененные

-  Наклонные
-  Слаборасчлененные
-  Среднерасчлененные
-  Сильнорасчлененные

Зональные таежные равнинные

-  Выположенные
-  Слабонаклонные
-  Пологоволнистые и увалистые
-  Пологохолмистые
-  Слаборасчлененные равнинные
-  Среднерасчлененные равнинные

Опасные геологические процессы

-  Подтопление
-  Термокарст
-  Наледи
-  Полигонально-жильные структуры

Зональные таежные заболоченные

-  Слабоволнистые низменные
-  Возвышенные

Интразональные долинные заболоченные

-  Плоские низменные
-  Слабоволнистые низменные
-  Слабонаклонные
-  Возвышенные

Зональные таежные долинные

-  Незаболоченные

Общая оценка опасности участков автодороги

-  условно безопасная
-  пониженная
-  средняя
-  повышенная

Интразональные антропогенно трансформированные

-  Антропогенно трансформированные ландшафты (карьеры)
-  Антропогенно трансформированные ландшафты (населенные пункты)
-  Антропогенно трансформированные ландшафты (дражная разработка)
- A-1 Индекс ландшафтных и геокриологических условий (приложение В к схеме)

Категории предрасположенности к развитию процессов

-  1
-  2
-  3

Прочие обозначения

-  Реки
-  Водные объекты
-  Склоны северной экспозиции
-  Гари за 2019-2023 гг.
-  Заозеренные и заболоченные термокарстовые понижения (реликтовый термокарст)

Таблица 1- Ландшафтные и геокриологические условия полосы автодороги Чита-Хабаровск

Индекс	Род	Ландшафт	Геокриологические условия		Геокриологические процессы и явления	СПП ¹
			Четвертичные отложения	Условия		
Зональные таежные горные расчлененные						
A-1	Сильнорасчлененные	Сильнорасчлененные горные ландшафты с развитыми и глубокими долинами, занятые лесами и редколесьями (лиственница, береза)	Элювиально-делювиальные и коллювиально-делювиальные глыбы, щебень и дресва с супесчаным и суглинистым заполнителем (3-5 м).	Прерывистое распространение ММП; мерзлота, сливающаяся на С экспозиции, несливающаяся - на Ю экспозиции; деятельный слой - до 4 м	развитие эрозии; предпосылки развития эрозии и термоэрозии	1
A-2		Сильнорасчлененные горные ландшафты с развитыми и глубокими долинами, занятые сочетанием лесов (береза, лиственница), марей и болот	Элювиально-делювиальные и коллювиально-делювиальные глыбы, щебень и дресва с супесчаным и суглинистым заполнителем (3-5 м).	Прерывистое распространение ММП; мерзлота, сливающаяся на С экспозиции, несливающаяся - на Ю экспозиции; деятельный слой - до 4 м	развитие эрозии, наледей; предпосылки развития эрозии и термоэрозии	1
A-3	Среднерасчлененные	Сочетание среднерасчлененных горных ландшафтов с частыми грядами и отдельных долинообразных переувлажненных понижений, занятые лесами и редколесьями (лиственница, береза)	Элювиально-делювиальные и коллювиально-делювиальные глыбы, щебень и дресва с супесчаным и суглинистым заполнителем (5-10 м).	Массивно-островное распространение ММП; несливающаяся мерзлота; мощность деятельного слоя до 4 м	предпосылки развития эрозии и термоэрозии	1

¹ Степень предрасположенности к развитию опасных геокриологических процессов. См. Отчет НИР по теме «Оценка геокриологических процессов ...».

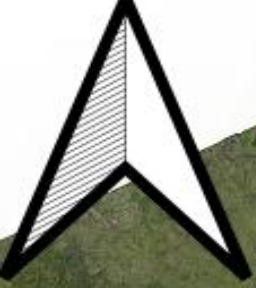
Оперативный локальный мониторинг на основе дистанционных данных

Примеры изображений очагов опасных геокриологических процессов, в полосе трассы непосредственно прилегающей к автодороге



подтопление автодороги и термокарст по полигонально-жильным структурам (разрешение снимка 0,5-1 м)

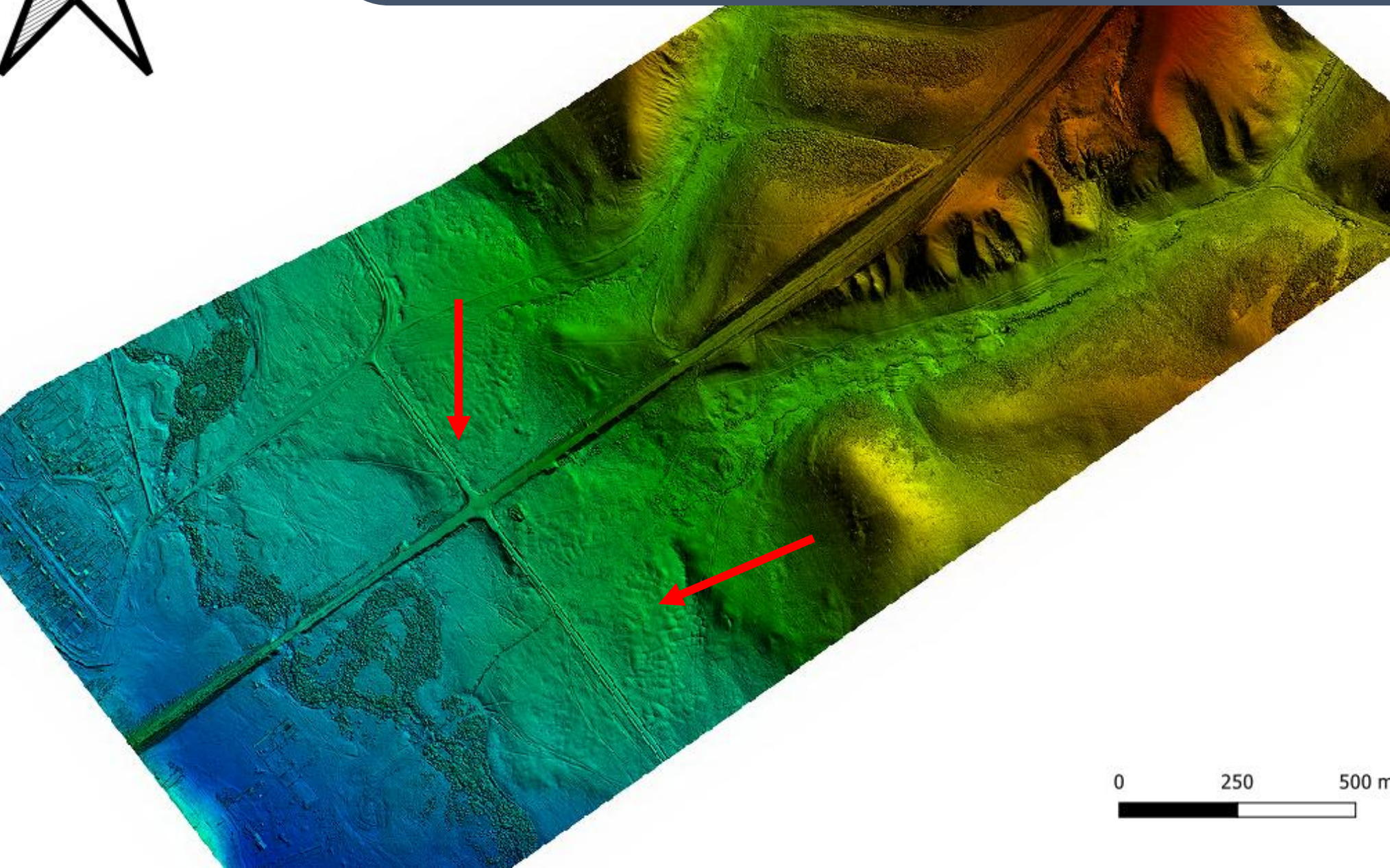
ДЕТАЛЬНАЯ АЭРОФОТОСЪЕМКА



0 100 200 m



СТЕРЕОСЪЕМКА, ЦМР



0 250 500 m

3D моделирование деформаций



Выводы

- Использование данных дистанционного зондирования целесообразно при эксплуатации автомобильных дорог в криолитозоне
- Применение данных дистанционного зондирования позволяет за ограниченные сроки и с ограниченными ресурсами выполнить экспресс-анализ геокриологических опасностей на обширной территории для определения участков повышенной опасности с целью сосредоточенного контроля
- Использование данных дистанционного зондирования позволяет в случае необходимости вести оперативный локальный мониторинг автодорог