



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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ЛАНДШАФТНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ УСЛОВИЙ ПРОХОЖДЕНИЯ АВТОДОРОГ

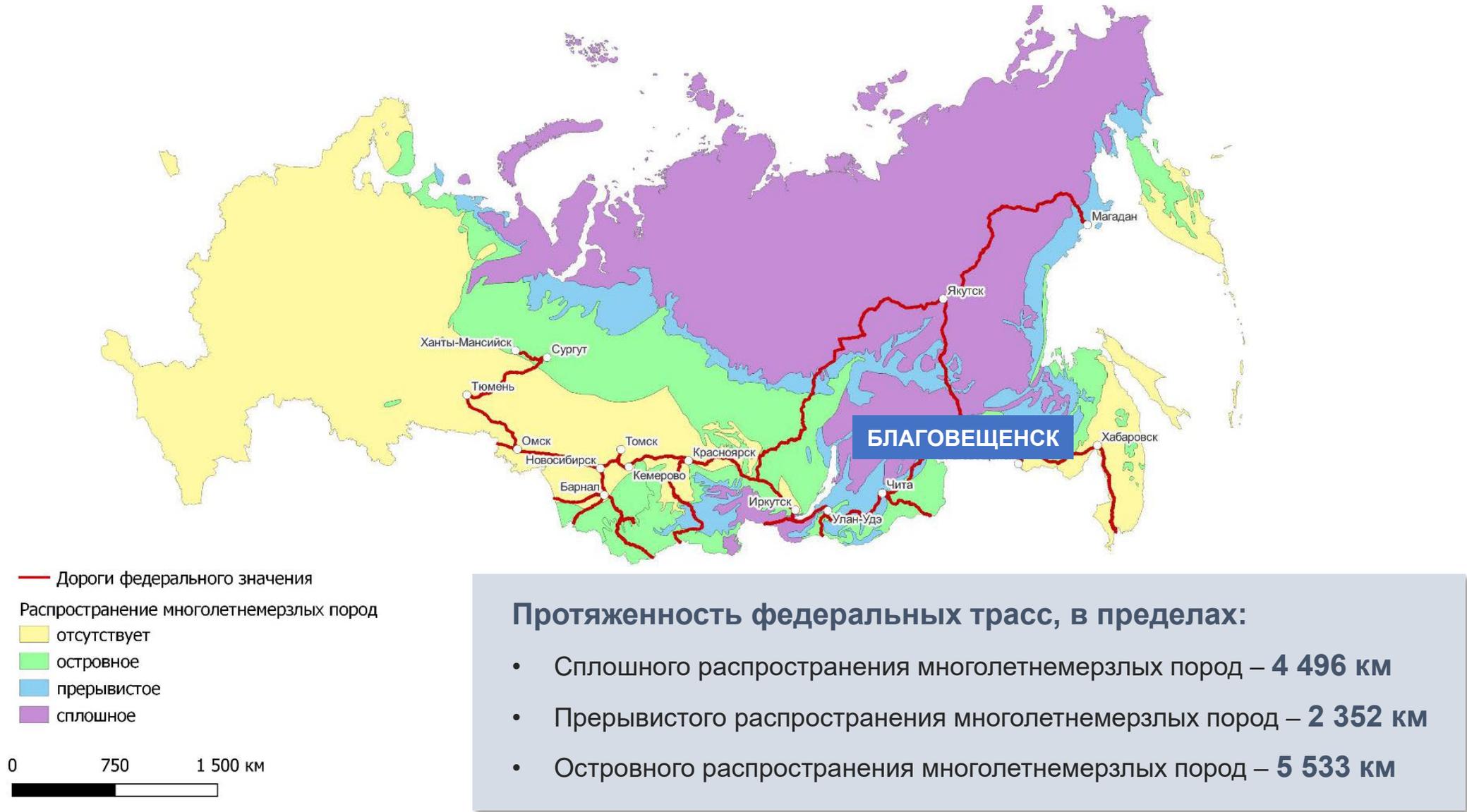
Орлов Т.В., ведущий научный сотрудник ИГЭ РАН, к.г.-м.н
Викторов А.С., заведующий лабораторией ИГЭ РАН, д.г.н



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

**СЕМИНАР ФЕДЕРАЛЬНОГО ДОРОЖНОГО АГЕНТСТВА
БЛАГОВЕЩЕНСК | 19–21 АВГУСТА 2024 ГОДА**

Федеральные автодороги в пределах распространения многолетнемерзлых пород



Примеры деформаций дорожного полотна на автодороге «Амур»





АКТУАЛЬНОСТЬ:



- протяженный объект, постоянно меняющиеся условия;
- отсутствие качественных инженерно-геологических (геокриологических) изысканий на всем протяжении автодороги;
- необходимость планирования экономически обоснованных защитных мер;
- необходимость планирования размещения постов мониторинга.

ЦЕЛЬ:



Разработка методического подхода использования и комплексирования пространственной информации для проведения ландшафтно-геокриологического районирования условий прохождения автодороги.



- 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 на рассматриваемой части трассы;
- 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.

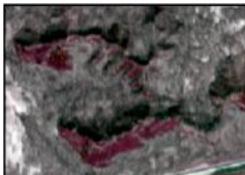


МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

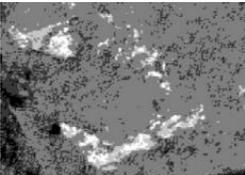
Использование высокоуровневых подходов дешифрирования отдельных ландшафтных элементов, значимых для геокриологического районирования



 **Остепненные луга**

Sentinel 2, март 

Высокое разрешение 

NDVI март 

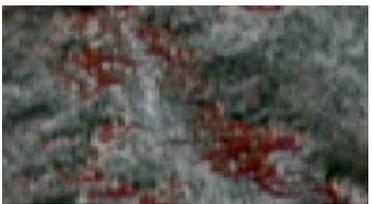
+ 

= 

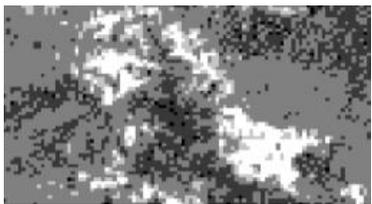
Остепненные луга

»»» **Отсутствуют многолетне мерзлые породы**

 **Сосновые леса**

Sentinel 2, март 

Высокое разрешение 

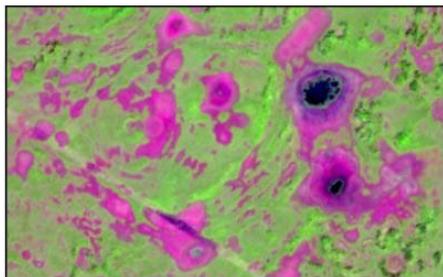
NDVI март 

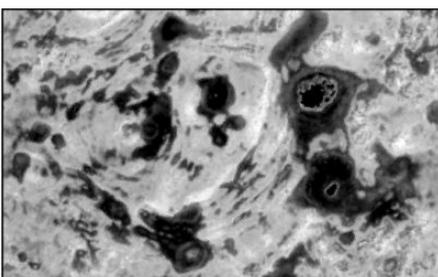
= 

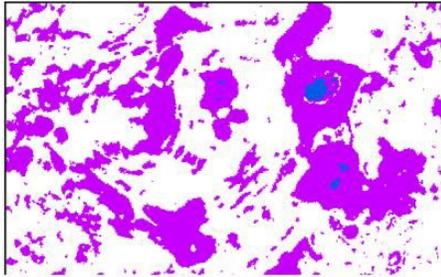
Сосновые леса

»»» **Отсутствуют многолетне мерзлые породы**

 **Вода и переувлажненные участки**

Sentinel 2, август 

NDWI август 

= 

Участки переувлажнения

»»» **Условия для заболачивания**

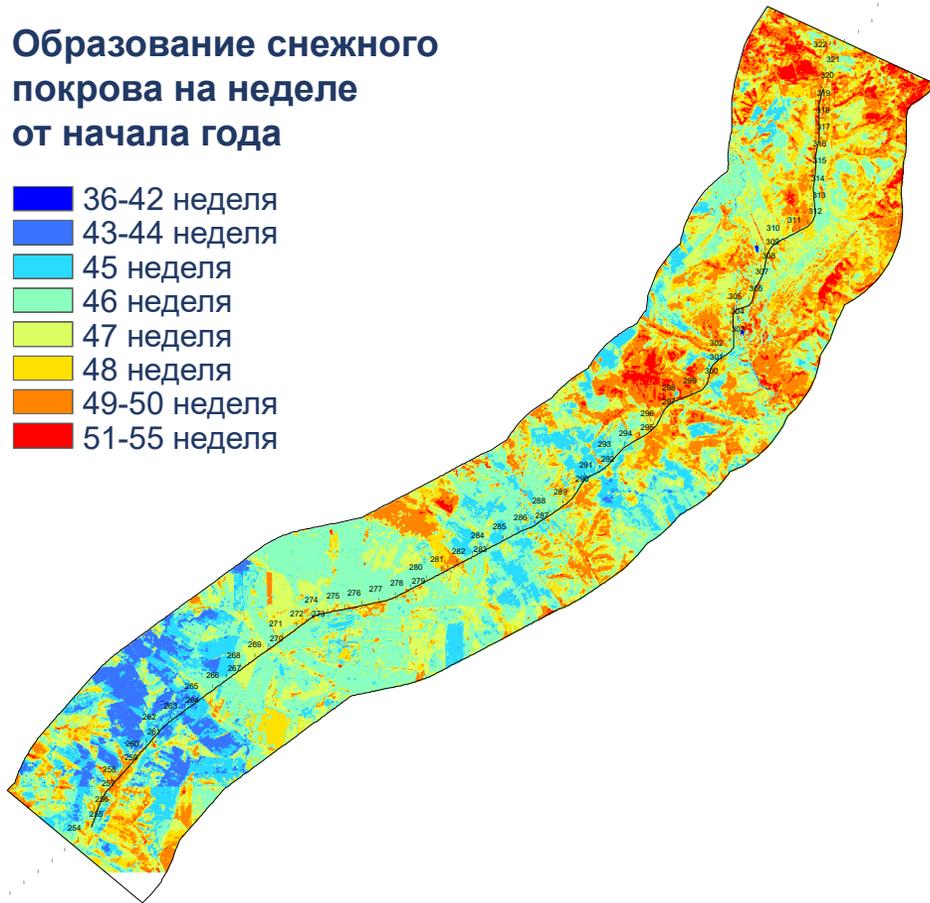
Получение факторов-индикаторов: Оценка периода наличия снежного покрова



Осенний период

Образование снежного покрова на неделе от начала года

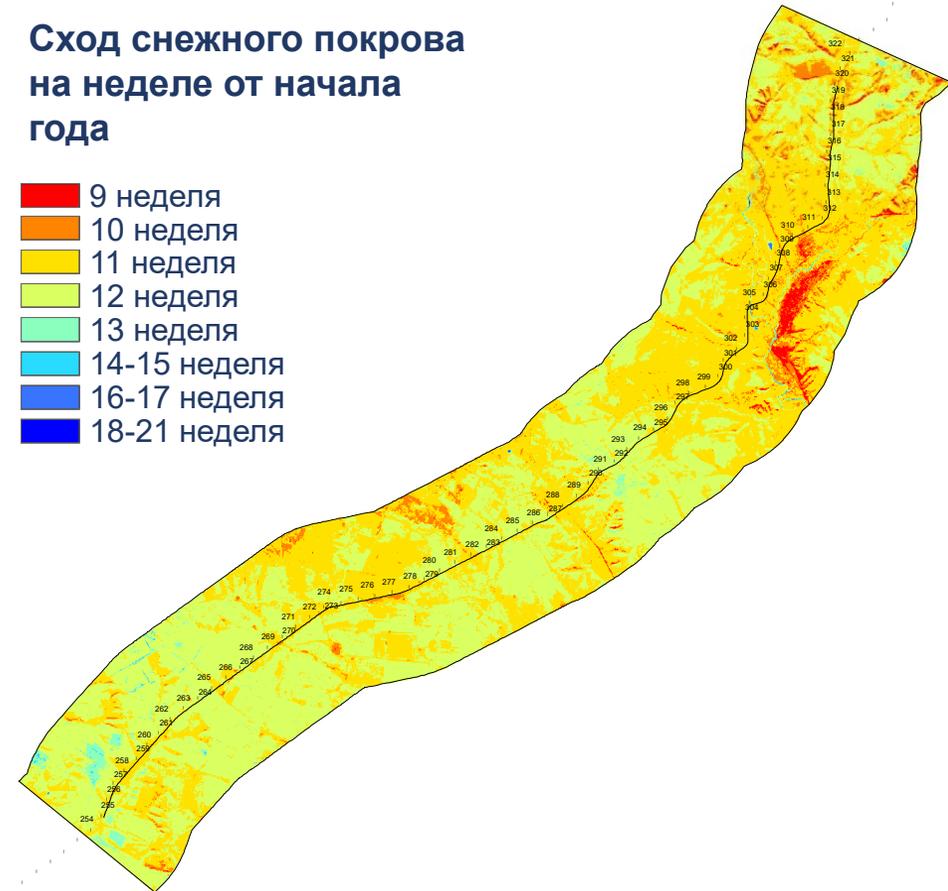
- 36-42 неделя
- 43-44 неделя
- 45 неделя
- 46 неделя
- 47 неделя
- 48 неделя
- 49-50 неделя
- 51-55 неделя



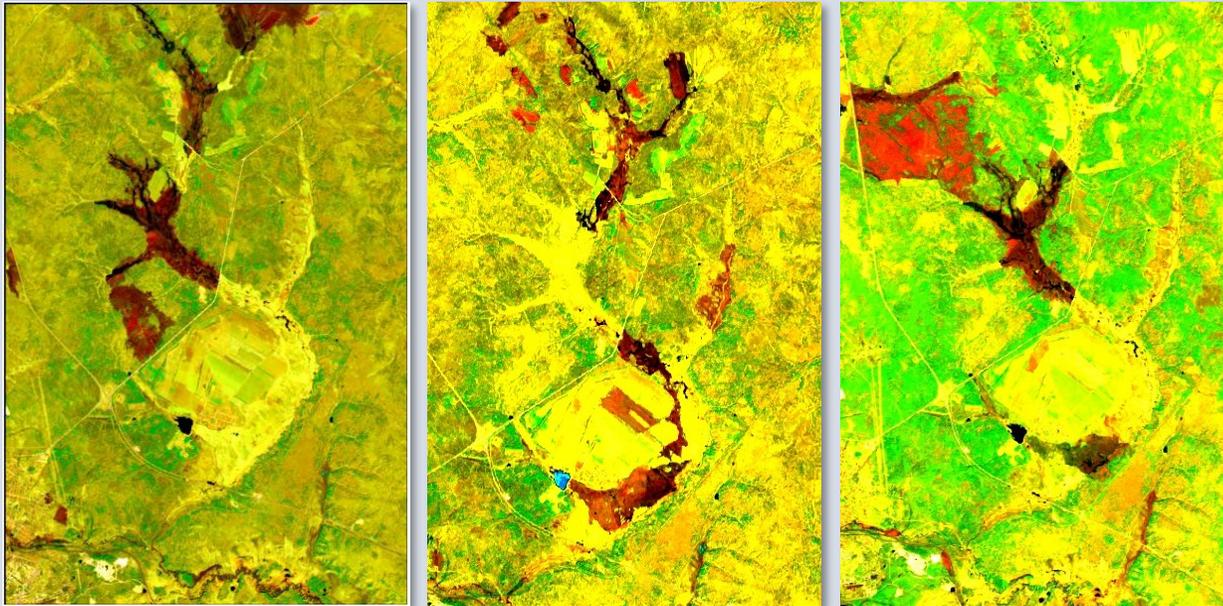
Весенний период

Сход снежного покрова на неделе от начала года

- 9 неделя
- 10 неделя
- 11 неделя
- 12 неделя
- 13 неделя
- 14-15 неделя
- 16-17 неделя
- 18-21 неделя



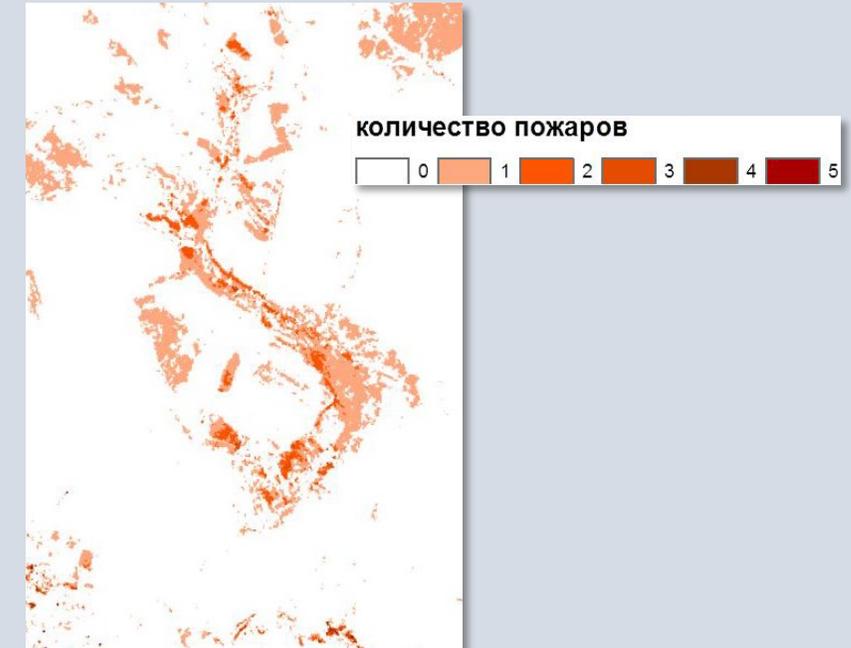
Пожары на майских снимках Sentinel-2



Индекс для определения гарей:

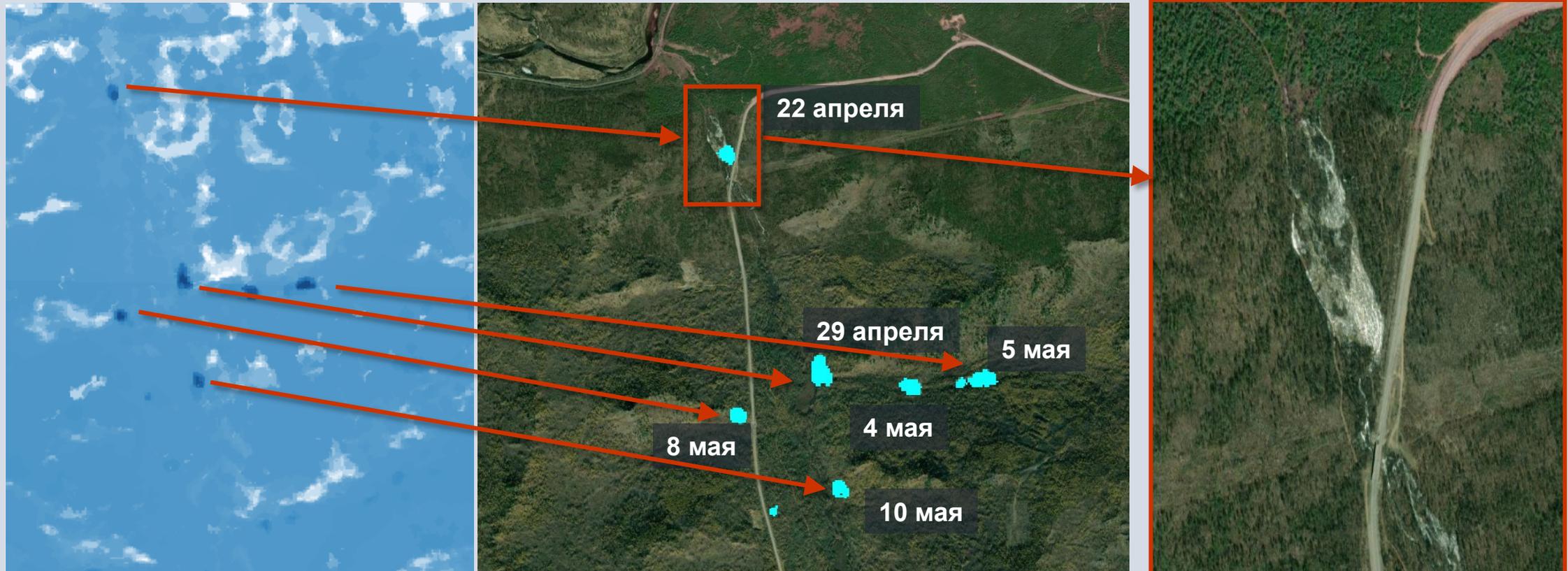
$$\text{NBR} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}}$$

Сгоревшие площади за 5 лет

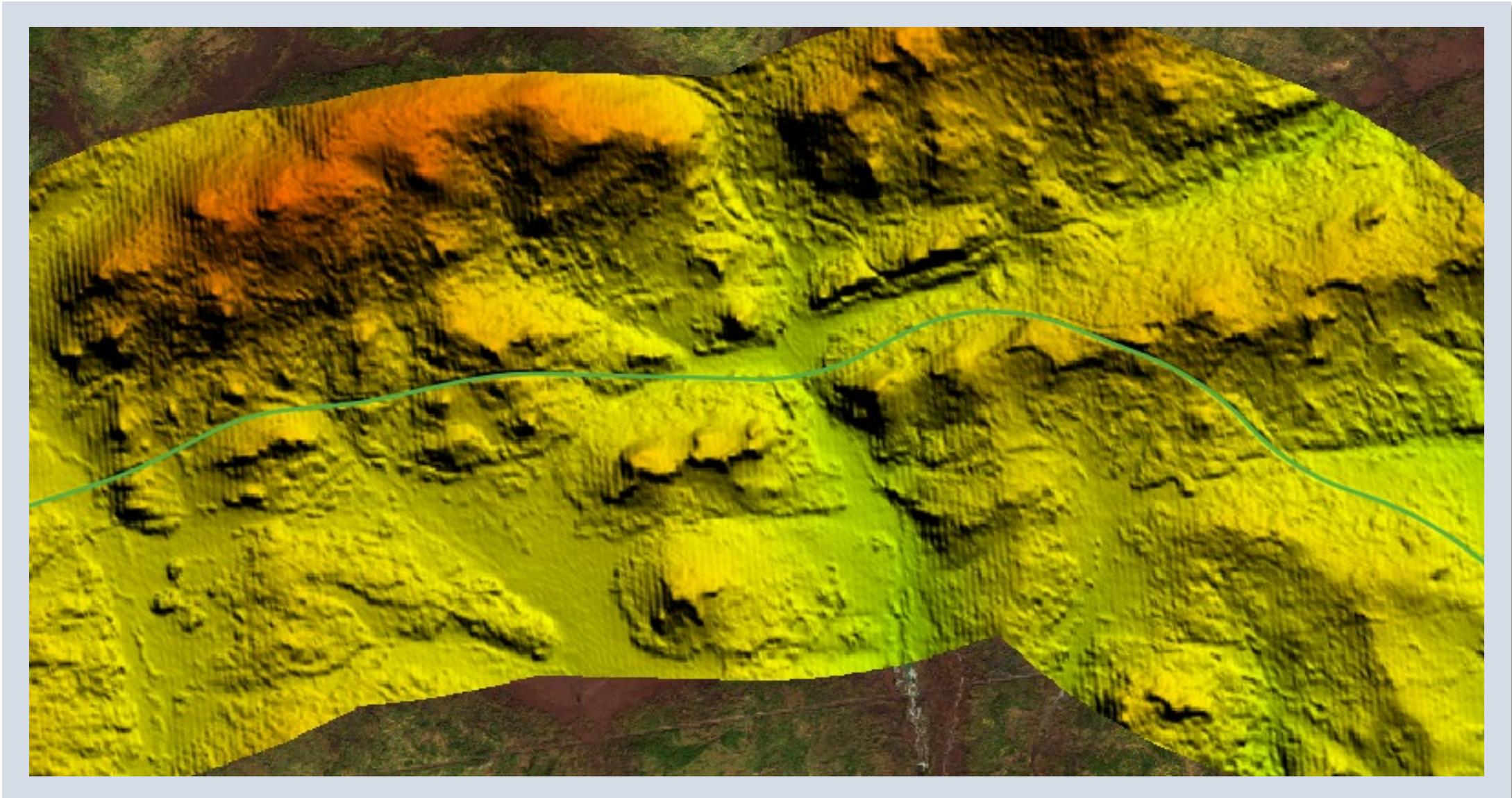


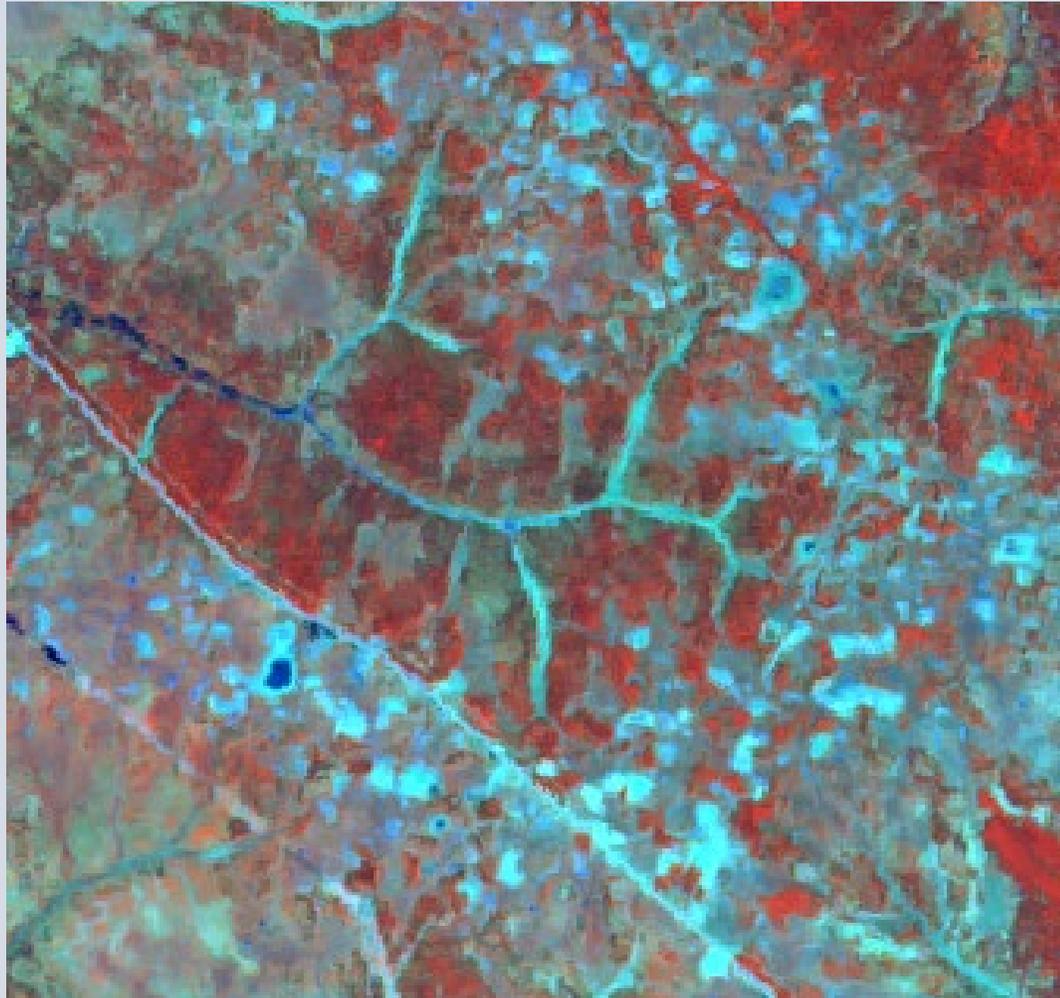
Предпосылки для деградации
мерзлоты

Автоматизированное дешифрирование наледей по длительности залегания снежного покрова в весенний период

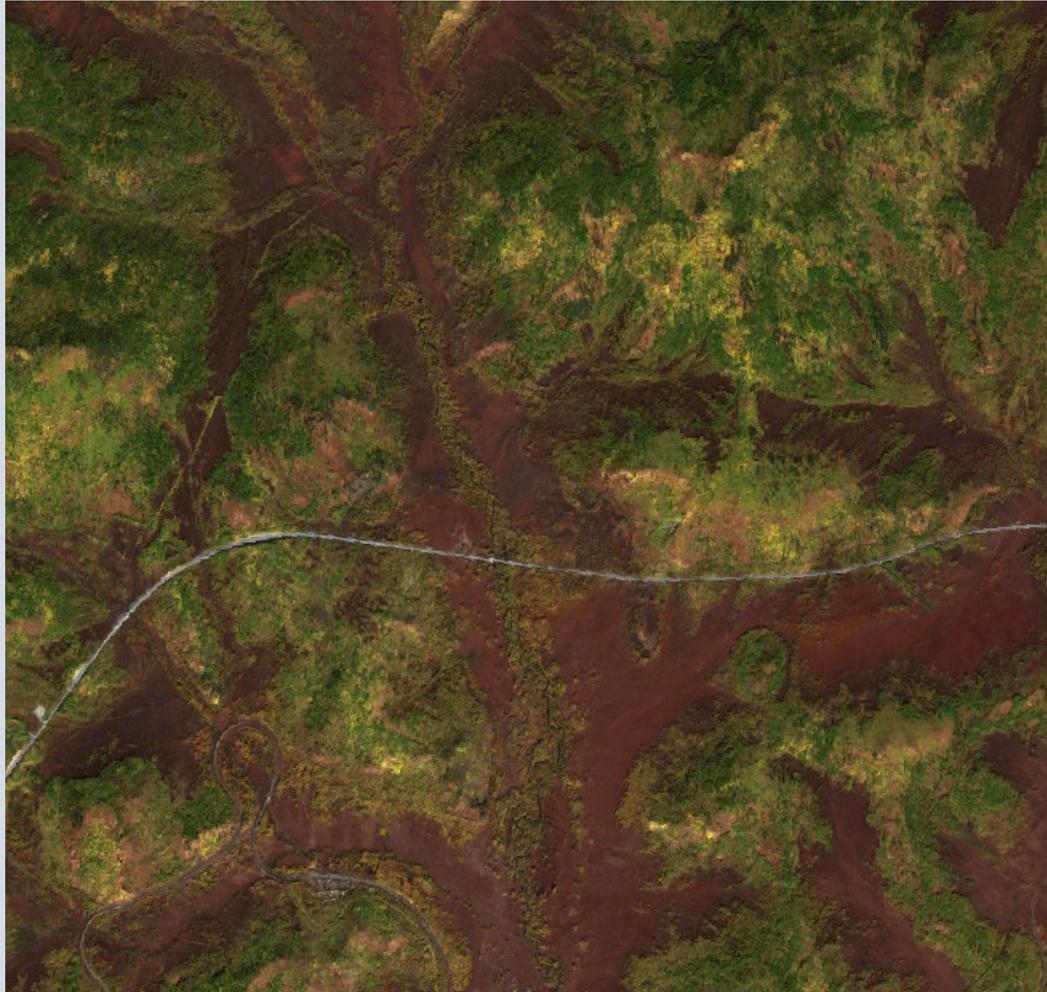


Использование региональной цифровой модели рельефа для выявления геоморфологических условий



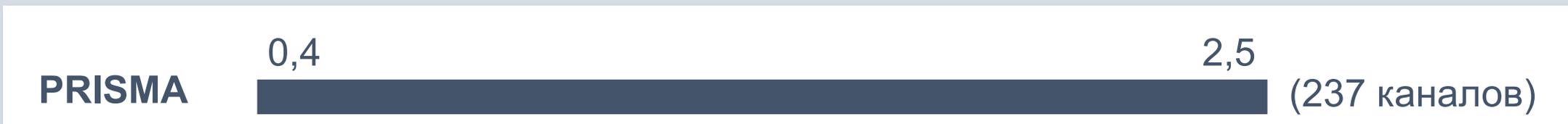
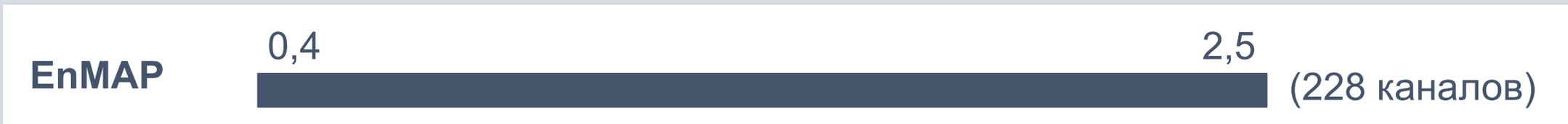


Примеры изображений участков с разными типами ландшафтно-геокриологических условий на космических снимках высокого разрешения



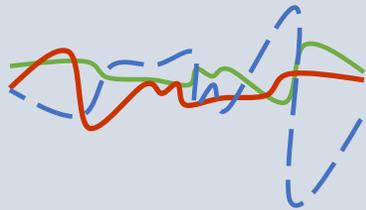


По данным
eoportal.org

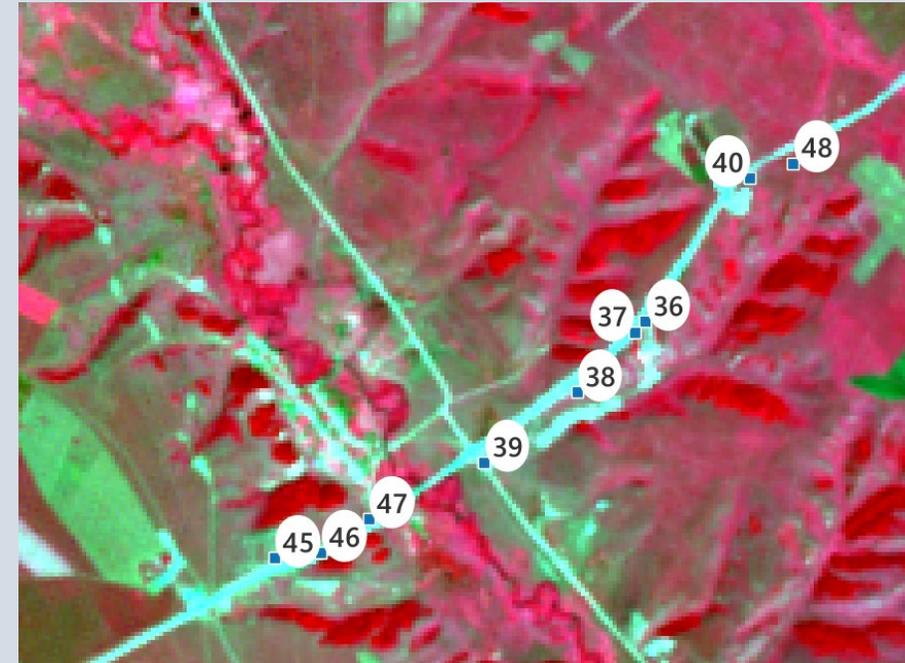
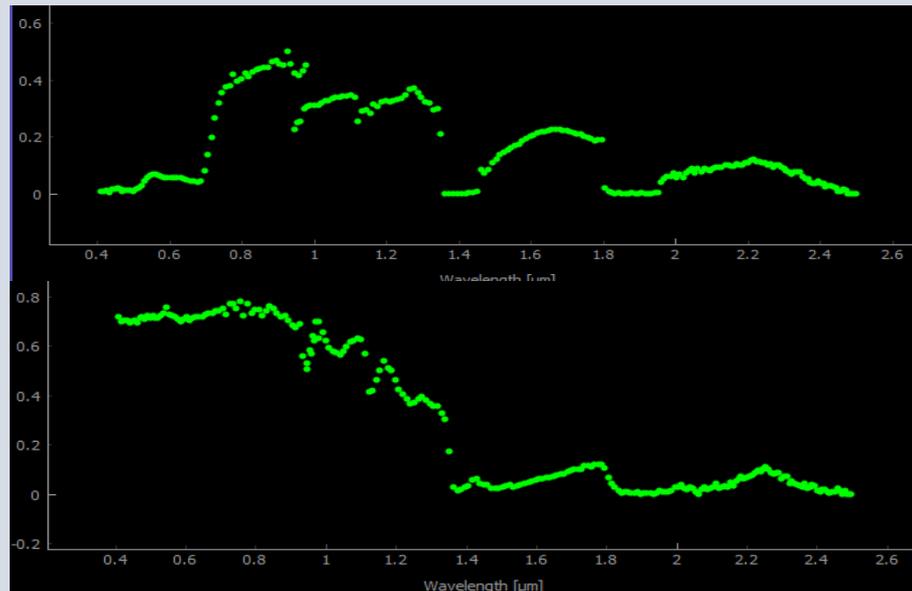


A. Brosinsky, et. al. Principles of imaging spectroscopy, 2019



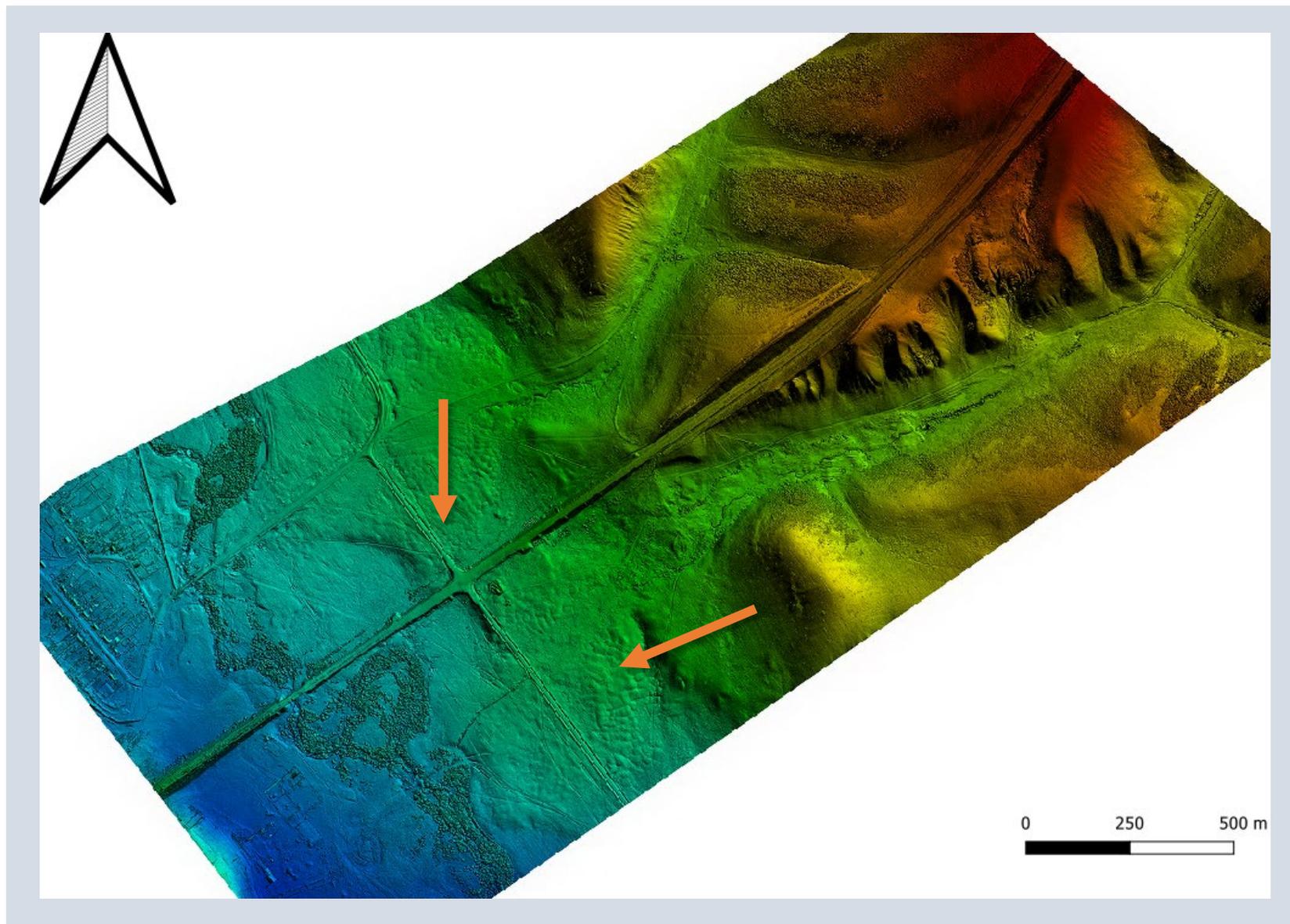


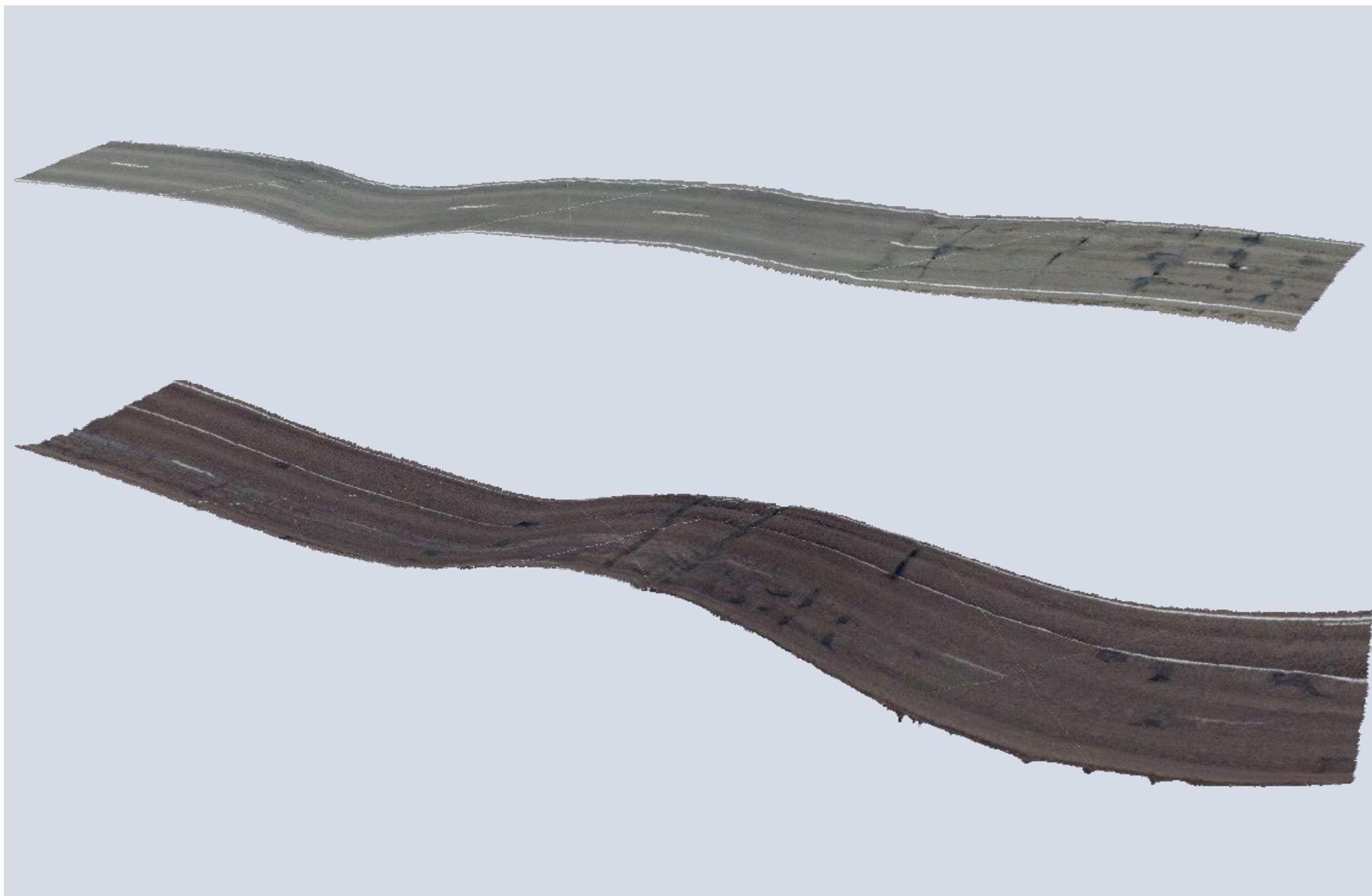
**Суглинок твердый
(талый сверху, мерзлый снизу)
по данным ASI Prisma**



**Композит гиперспектрального
снимка (827, 664, 559 нм)
и точки отбора образцов**



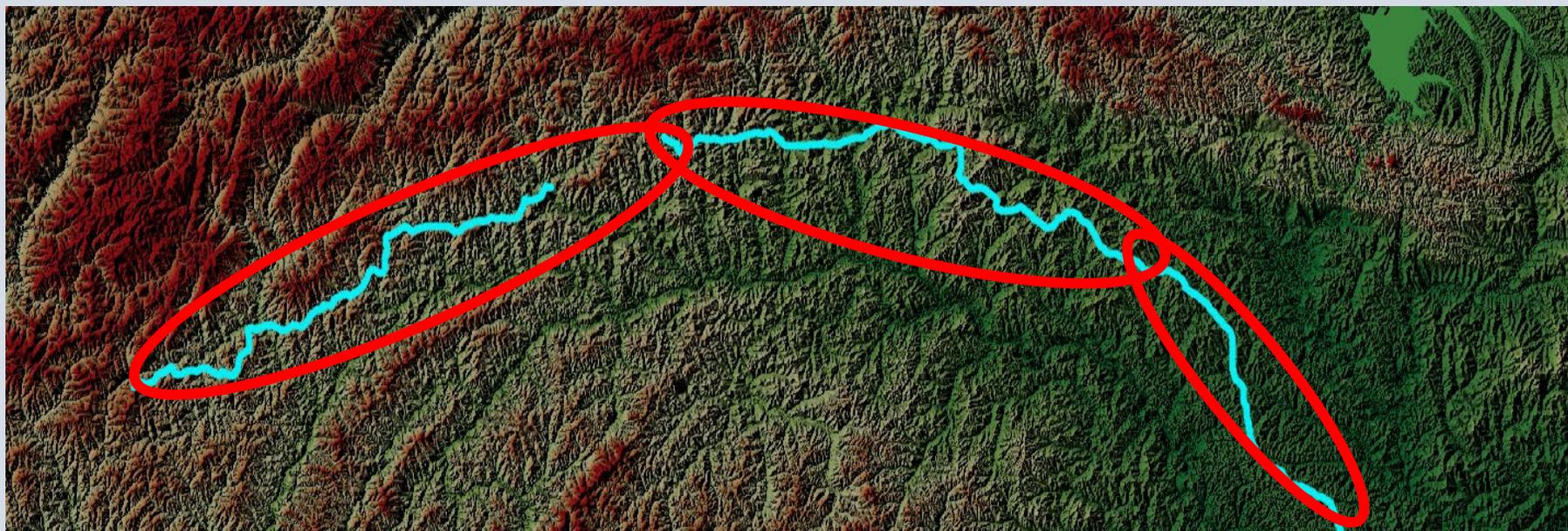






ПОДХОДЫ К ЛАНДШАФТНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМУ РАЙОНИРОВАНИЮ

(на примере участков автодороги Чита-Хабаровск
(км 380 - км 678, км 756 – км 1325))



ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ –

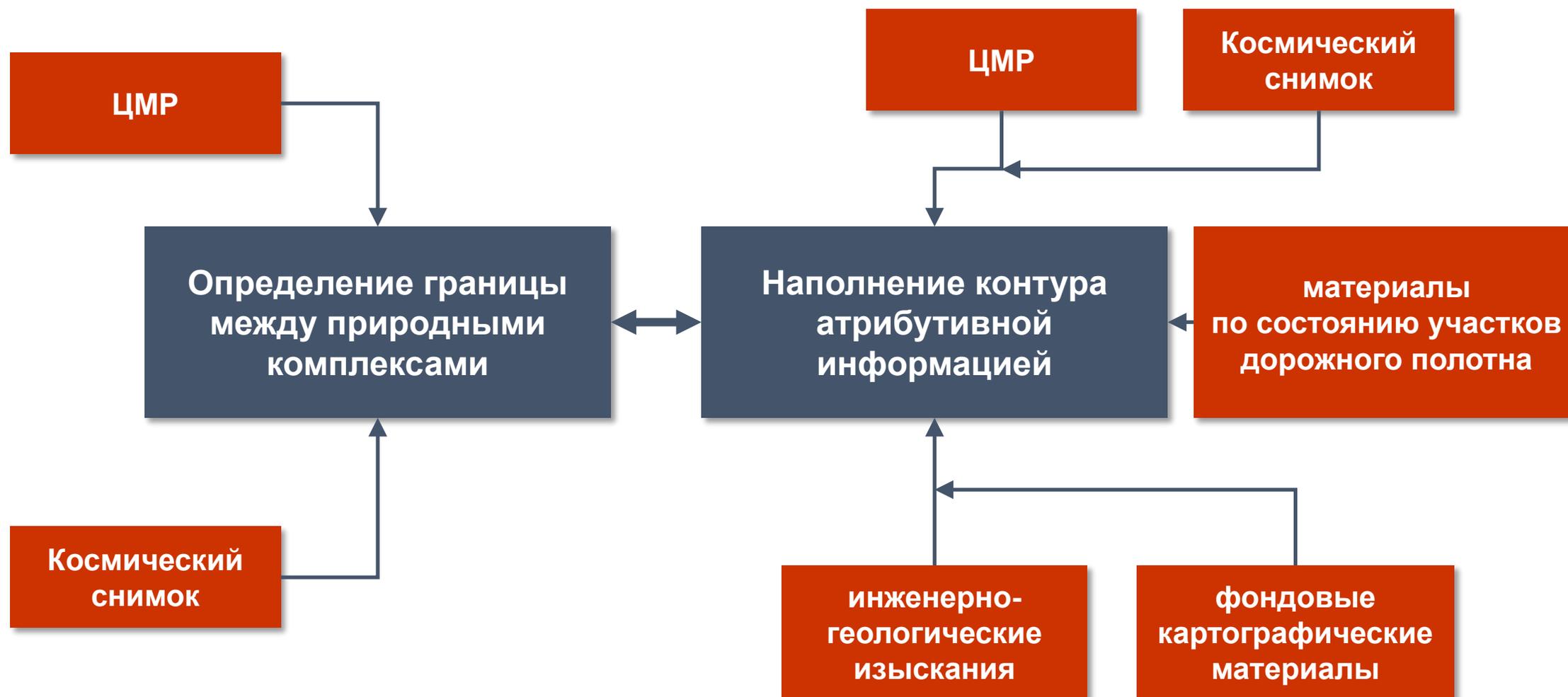
Морфоструктура второго порядка - Западно-Становая структурно-формационная зона складчато-глыбовых низкогорных и среднегорных хребтов раннепалеозойского и мезозойского возраста. Мерзлота прерывистая: Наибольшая льдистость – аллювий низких террас и поймы рек и озёр, супеси и суглинки подножий склонов и пологих (до 10°) склонов северной экспозиции.

ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ –

Подпровинция: Сводово-глыбовые низкогорные хребты и возвышенные равнины Мерзлота островная на междуречных пространствах с крупнообломочными породами, песками и супесями и преимущественно сплошная и прерывистая в долинах.

ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ –

Подпровинция: Эрозионно-аккумулятивные и аккумулятивно-денудационные низменные равнины. Мерзлота островная и редкоостровная на склонах северной экспозиции, на низких террасах с темнохвойным лесом и на торфяниках.

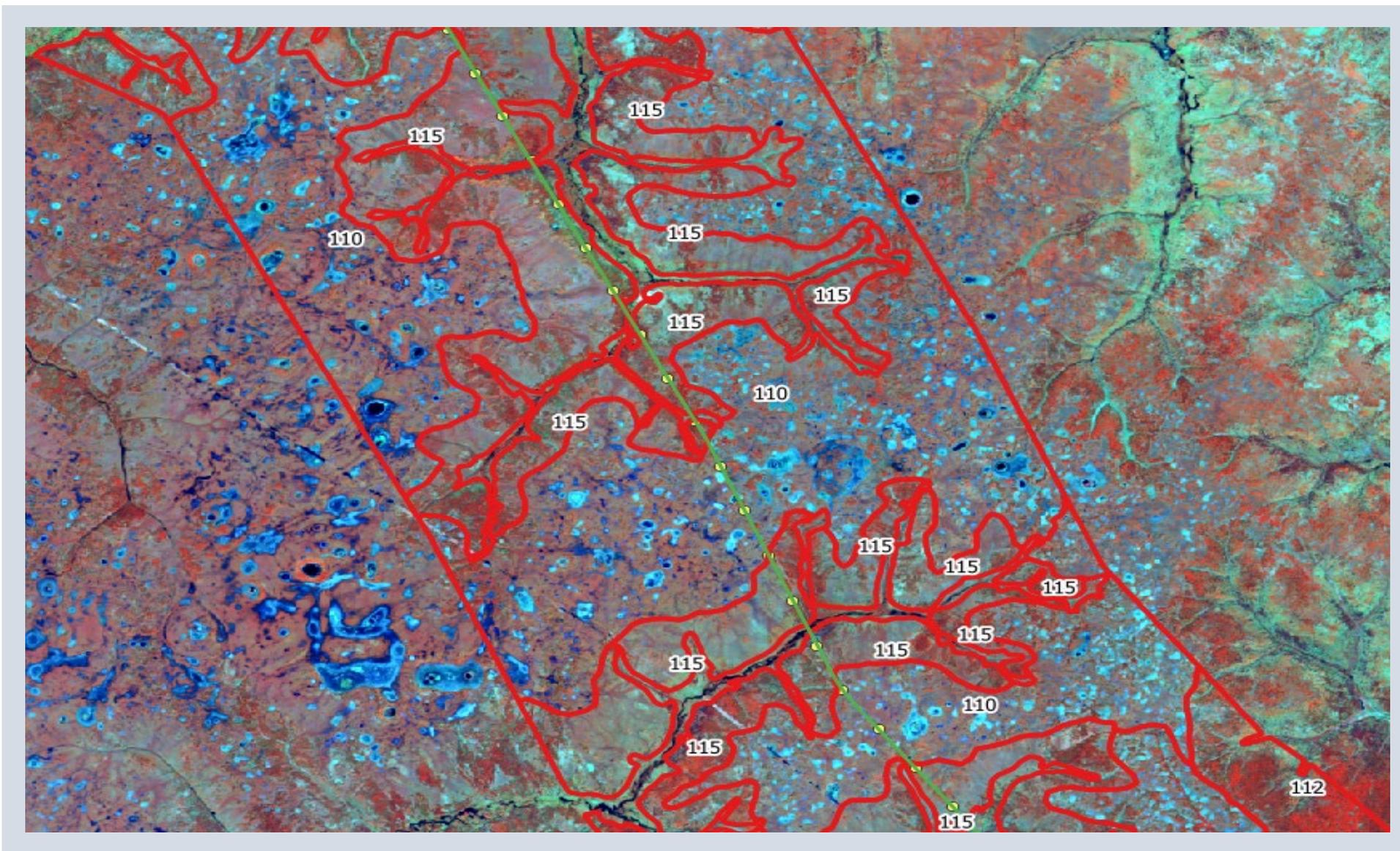




- Выделение долинных комплексов и их видов (марей в том числе);
- Ландшафтное дешифрирование и типизация для получение контурной основы;
- Дешифрирование растительного покрова для получения информации о растительности исследуемой территории для предварительной схемы;
- Получение информации о четвертичных отложениях;
- Получение информации о геокриологических условиях.



Предварительный результат – границы районов, однородных по условиям и характеру протекания процессов



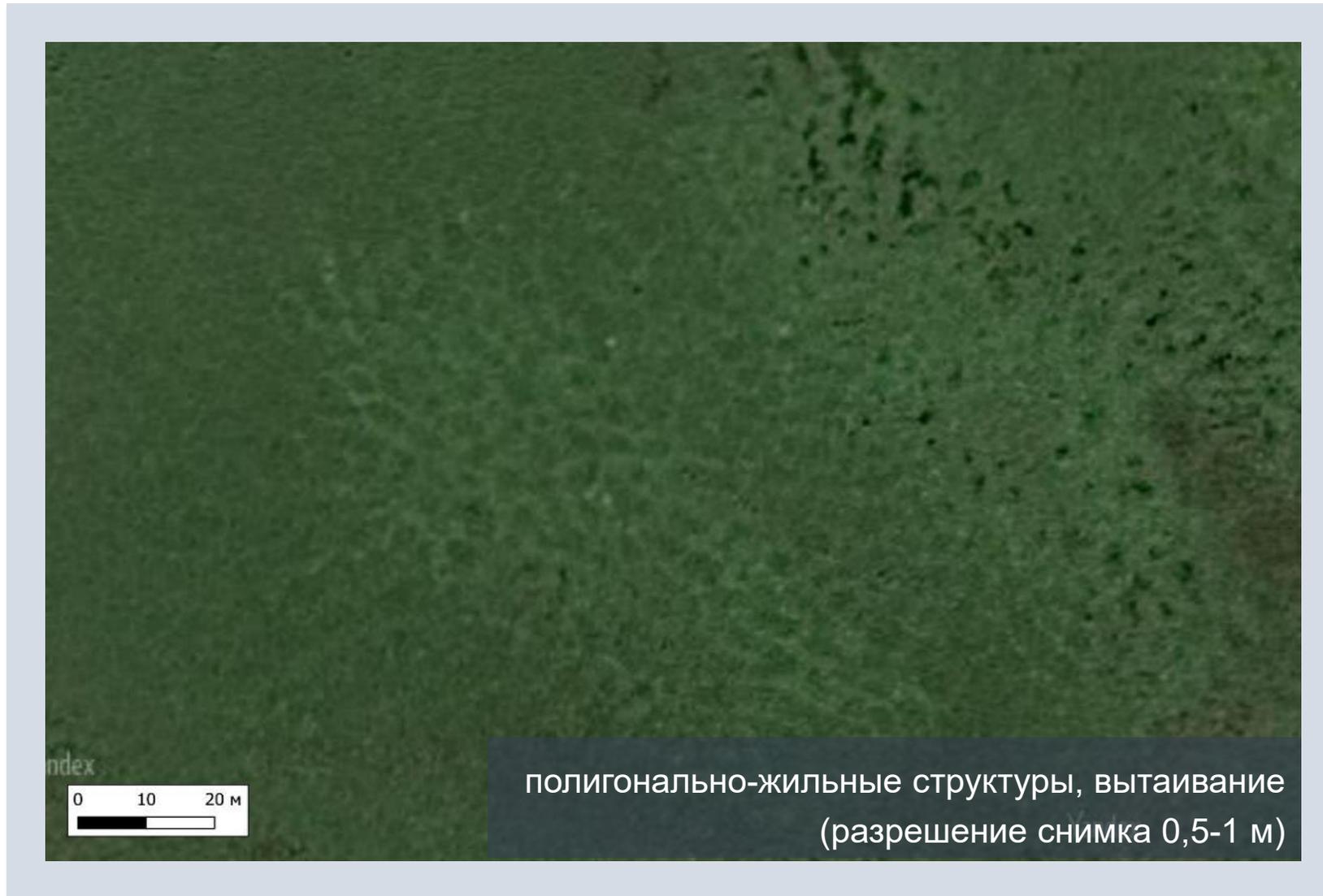


- Выделение по материалам высокодетальных космических съемок скоплений очагов развития негативных криогенных процессов (термокарст, подтопление и т.д.) в непосредственной близости от автодороги;
- Дешифрирование по материалам высокодетальных космических съемок отдельных наиболее значимых очагов;
- Выделение по материалам высокодетальных космических съемок существенных признаков развития негативных криогенных процессов (полигональная трещиноватость грунтов, бугристость, четковидность русел и др.);
- Анализ изменений ландшафтных и геокриологических условий на отдельных наиболее динамичных участках по материалам повторных дистанционных съемок.

Выделялись следующие проявления процессов и характерных условий:

- Очаги термокарстовых процессов;
- Очаги подтопления;
- Проявления эрозии;
- Наледообразование;
- Пучение;
- Участки развития полигонально-жильных структур.

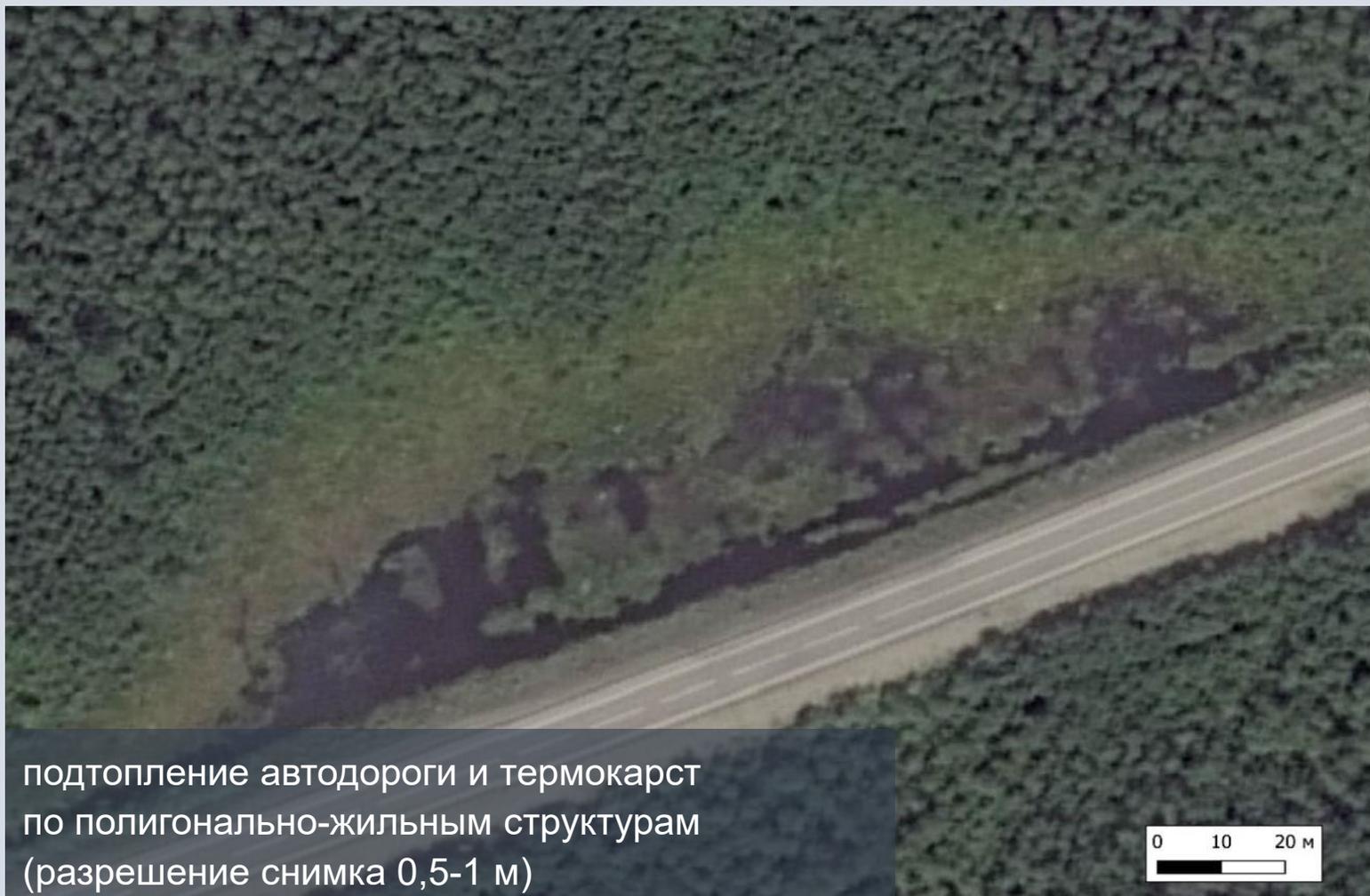
Примеры изображений очагов опасных геокриологических процессов, в полосе трассы непосредственно прилегающей к автодороге



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



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)

Идентификация явлений, обусловленных криогенными процессами



Наледообразование при замерзании 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



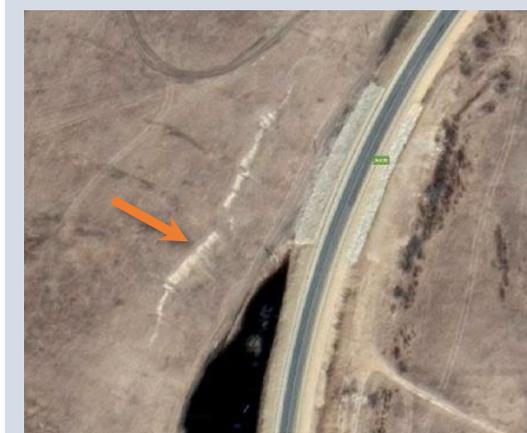
Трещины отседания, свидетельствующие о развитии термокарста



Формы многолетнего пучения на заторфованных отложениях



Сгущение трещин на дорожном полотне, свидетельствующее о деформациях насыпи



Разрушения откосов выемки вследствие развития эрозионных процессов и солифлюкции

Нарушение естественного стока
как фактор наледообразования



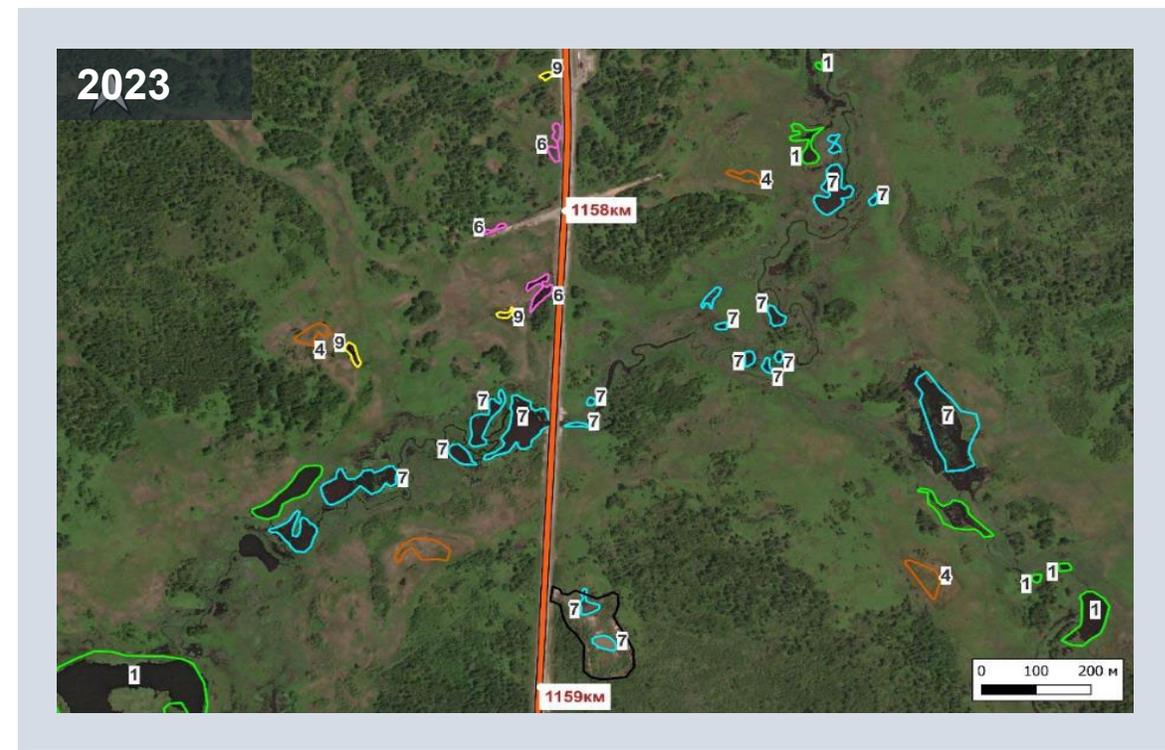
Оттаивание льдистых грунтов как фактор
просадок поверхности
в ненарушенных ландшафтах
и в пределах дорожных конструкций



Подтопление как фактор тепловых
осадок грунта



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



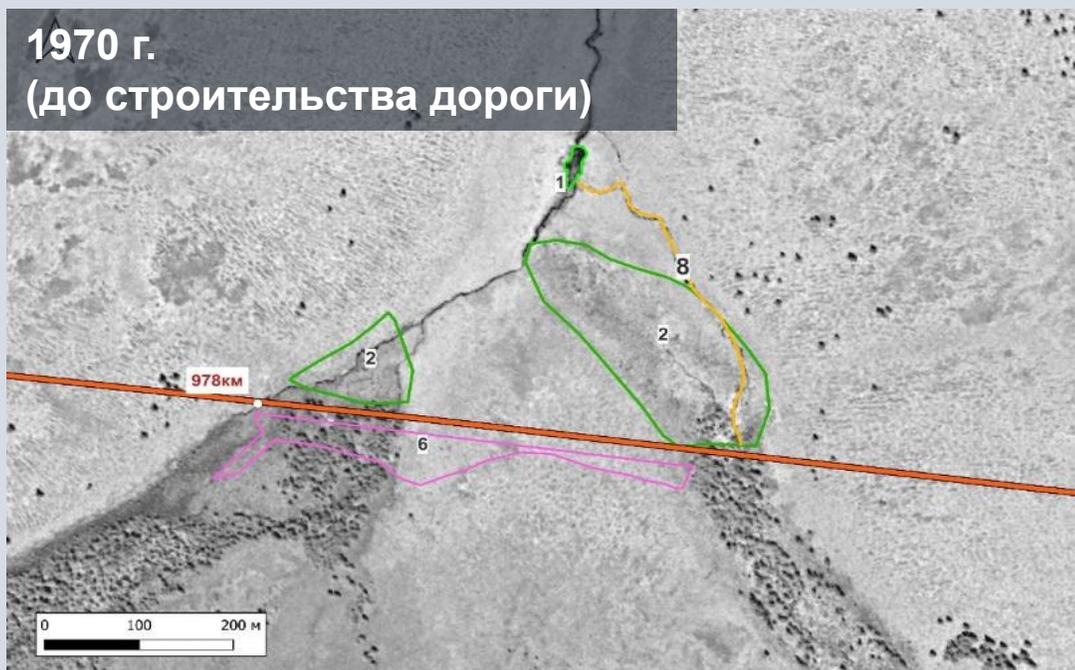
- пикеты
- трасса
- Процессы
- 1 - заболачивание
- 2 - зарастание лесом
- 3 - антропогенные изменения, карьеры
- 4 - осушение озера
- 5 - переувлажнение
- 6 - подтопление
- 7 - обводнение
- 8 - пересыхание ручья
- 9 - термокарстовые просадки

Появилось 3 новых термокарстовых просадки.
Выросла зона подтопления на 0,25 га.
Некоторые озера сократились и заболотились на 80 га

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



1970 г.
(до строительства дороги)



2023



- 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

**Появление новых участков занятых лесным покровом (40 га)
Увеличение зон подтопления до 13 га**



РЕЗУЛЬТАТЫ

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)

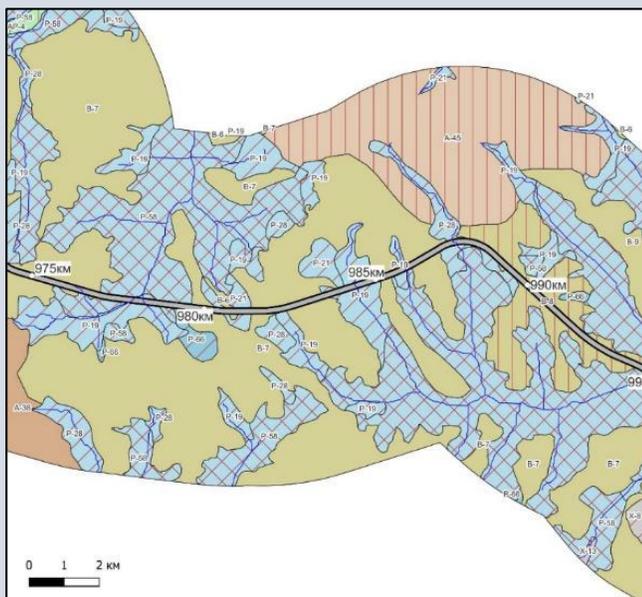
Таблица 1 – Ландшафтные и геокриологические условия полосы автодороги Чита-Хабаровск



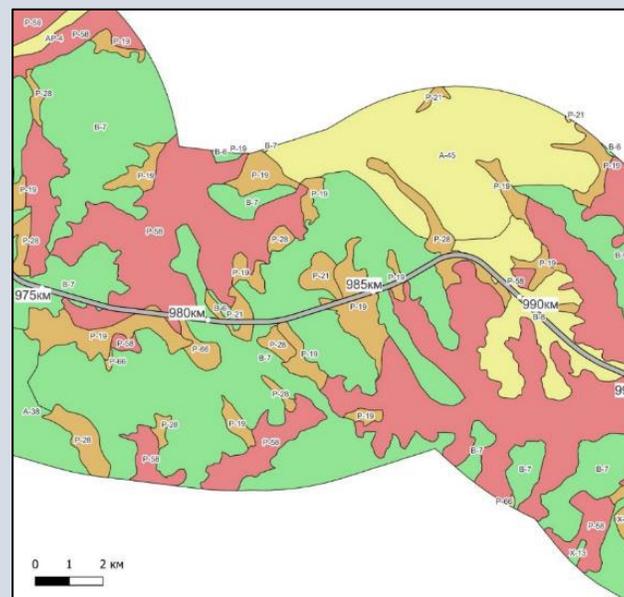
Индекс	Род	Ландшафт	Геокриологические условия		Геокриологические процессы и явления	СПП ¹
			Четвертичные отложения	Условия		
Зональные таежные горные расчлененные						
А-1	Сильнорасчлененные	Сильнорасчлененные горные ландшафты с развитыми и глубокими долинами, занятые лесами и редколесьями (лиственница, 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
А-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
А-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. Отчёт НИР по теме «Оценка геокриологических процессов ...».

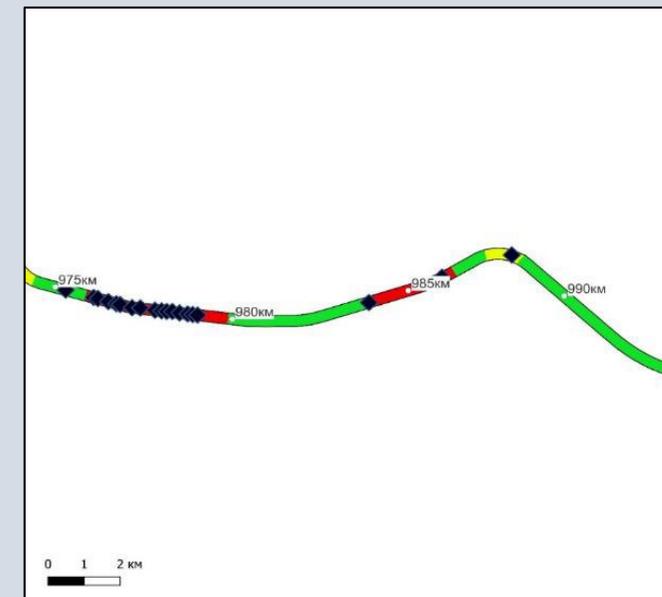
Результаты районирования



Категории предрасположенности ландшафтов к развитию опасных геокриологических процессов



Степень опасности участка 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

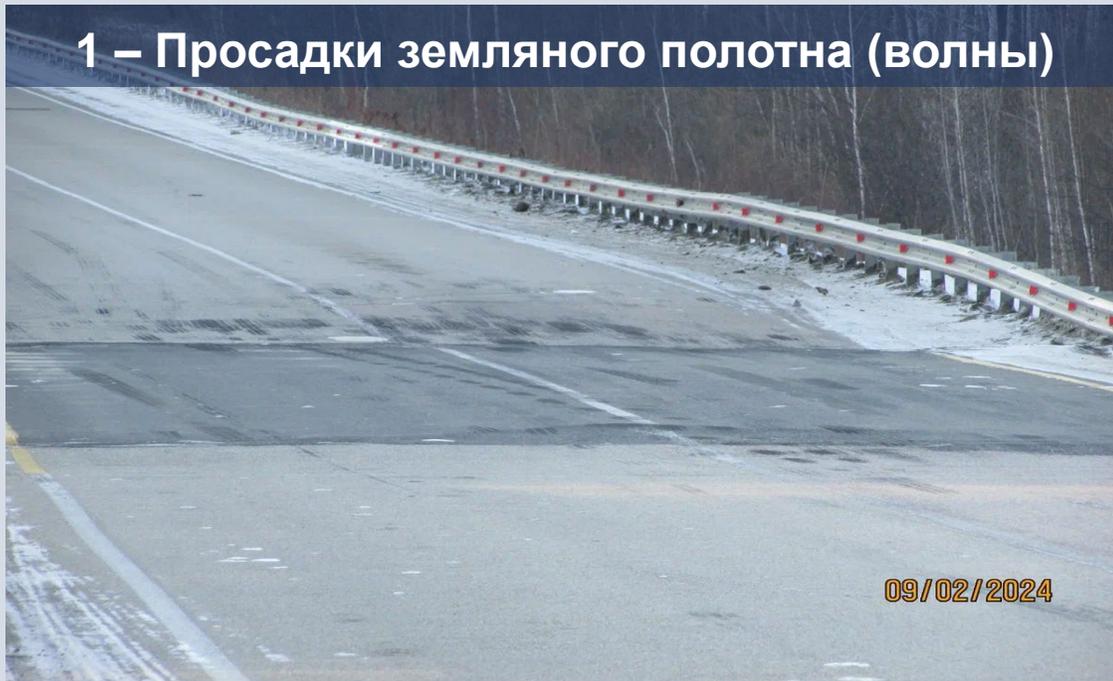
2 категория

предрасположенности к развитию опасных геокриологических процессов

3 категория

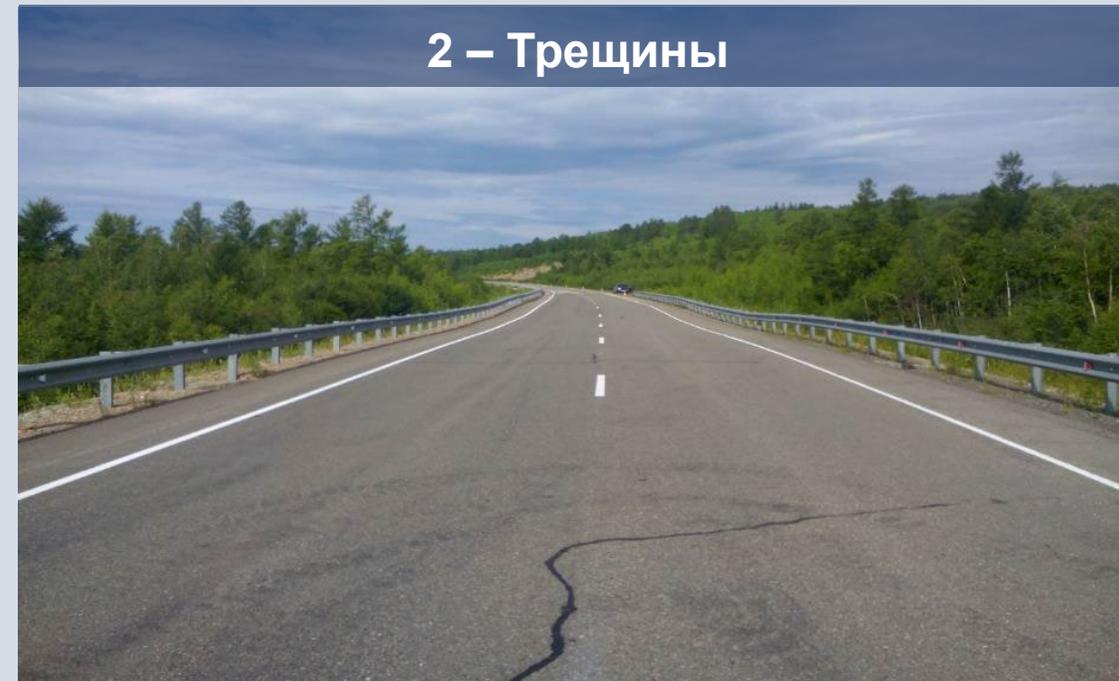
предрасположенности к развитию опасных геокриологических процессов

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

3 – Выбоины



Разрушение покрытия в виде углублений разной формы с резко выраженными краями (более 3 см глубиной и 200 кв. см по площади) .

4 – Проломы в покрытии



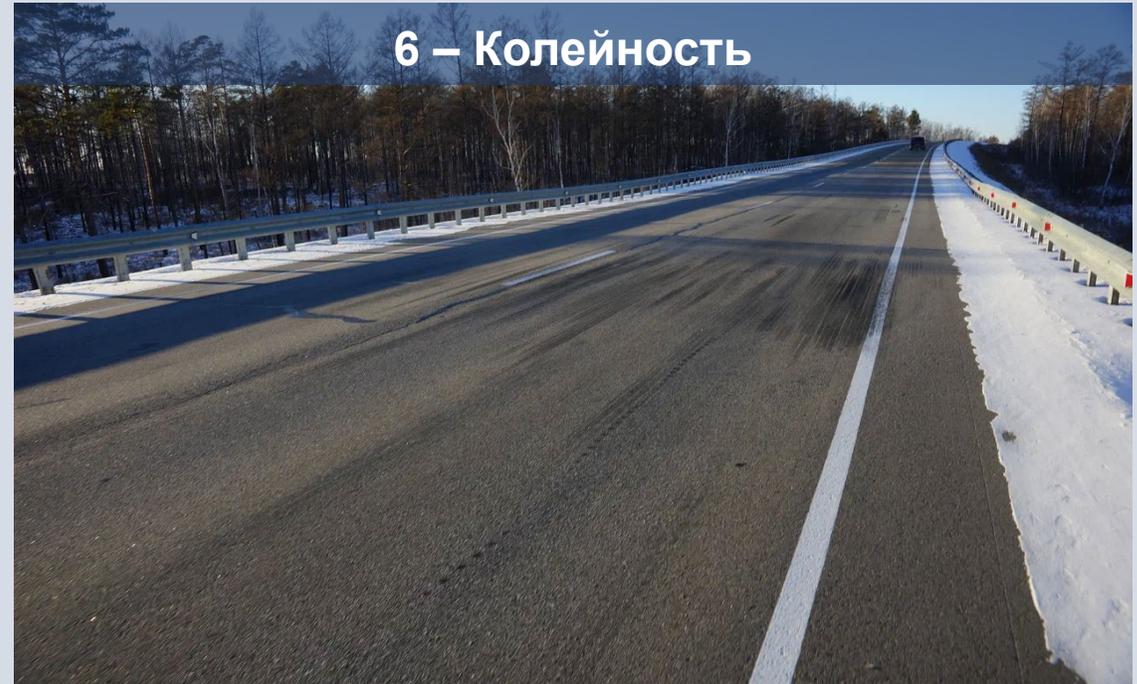
Полное разрушение дорожной одежды на всю ее толщину с резким искажением поперечного профиля, сопровождающееся сеткой трещин.

5 – Продольные трещины на обочине



Отрыв обочины от укрепленной части.

6 – Колейность



Искажение поперечного профиля покрытия вдоль полос наката, нередко сопровождающееся продольными трещинами и сеткой трещин (глубина до 30 мм) с образованием углублений по полосам наката с гребнями или без гребней выпора.

7 – Промоины на откосах земляного полотна



Искажение профиля откосов в виде впадин, углублений, взбугриваний.

8 – Необеспеченный водоотвод



Скопление воды в системе водоотвода, вызванное недостаточным или обратным поперечным уклоном, наличием деформаций и разрушений, нарушением работы системы водоотвода (дренажа, труб, водоотводных канав) или неудовлетворительной снегоуборкой.



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**

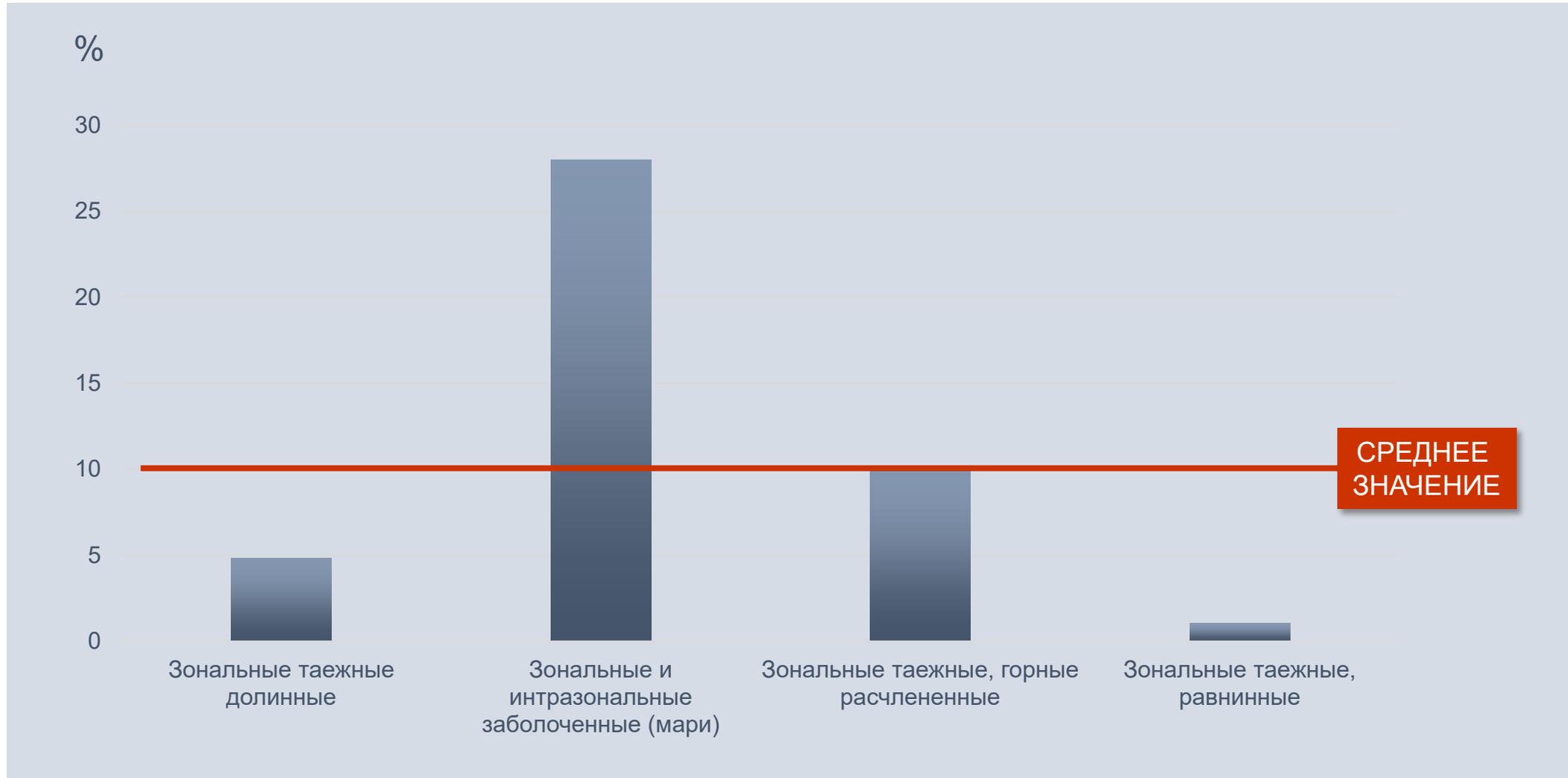


**Средняя степень
опасности участка**



**Пониженная степень
опасности участка**

Отношение длины участков с деформацией к длине автодороги в пределах типа ландшафта





**Повышенная
степень
опасности**

Приурочены

- пересечение **обширных ложбин часто заболоченных** с развитием целого комплекса геокриологических процессов – термокарстового, подтопления, нередко с подпором грунтового потока, вероятного пучения.
- **террасовые комплексы в восточной подзоне;**

На этих участках наблюдается деформация дорожной одежды и земляного полотна, что подтверждает оценку.



**Средняя степень
опасности**

Приурочены

- Ложбины, занятые марями, развитые процессы – термокарста, подтопления и признаками развития полигонально-жильных структур, однако с менее выраженными и многочисленными очагами, чем для повышенного уровня. Часто развиты наледи.
- Выровненная поверхность с реликтовым озерным термокарстом, с понижениями занятыми сейчас болотами.



**Пониженная
степень опасности**

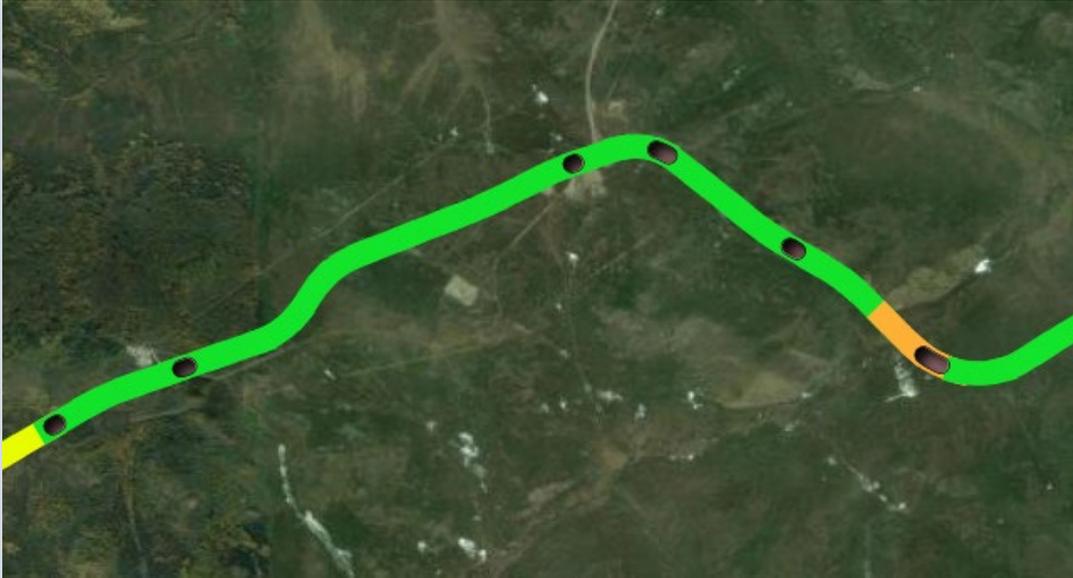
Приурочены к разным условиям

- склонам с развитием мелких ложбин и эрозионных форм, к небольшим заболоченным ложбинам, к окраинным частям выровненных поверхностей с развитием реликтового термокарста.



Большинство деформаций пространственно совпало с выделенными опасными участками

311 деформаций полотна было проанализировано на исследуемом отрезке



Участки повышенной опасности (2 участка из 22), на которых не отмечены деформации полотна.

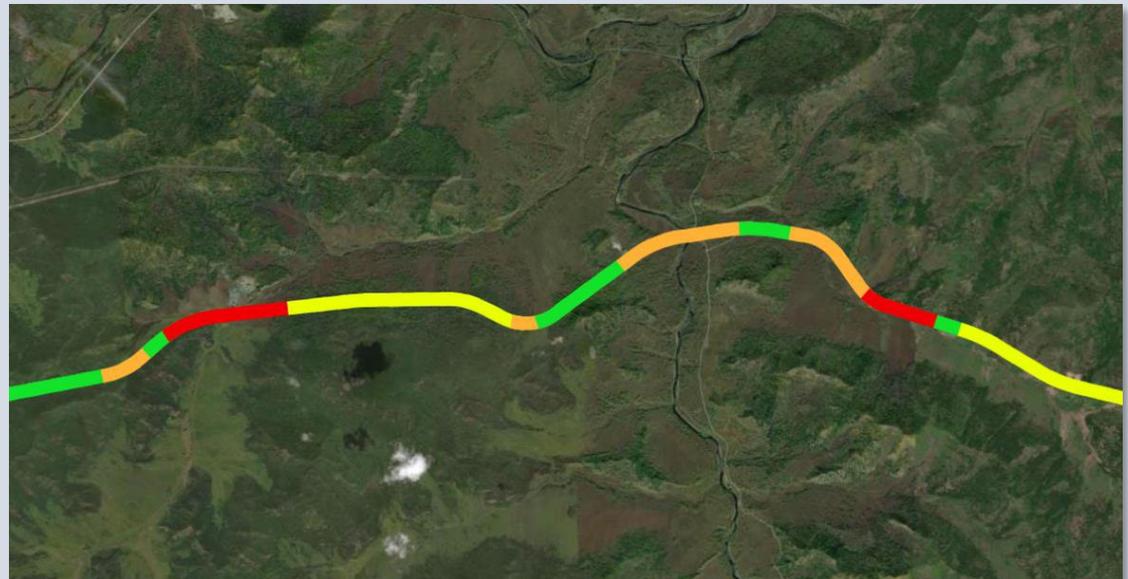
Возможные причины:

- Опасность участка определена ошибочно;
- Деформации полотна произойдут в будущем

Деформации полотна, которые произошли на участке, не включенном в состав опасных (26 деформаций из 311).

Возможные причины:

- Безопасность участка определена ошибочно;
- Деформации полотна не связаны с условиями проявления геокриологических процессов, а связаны, например с нарушениями технологии строительства автодороги.



- На рассматриваемой части автодороги всего выделено **328 участков** с различной оценкой степени опасности общей длиной **273,5 км**.
- Всего на рассматриваемой части автодороги Чита-Хабаровск выделено **22 участка (34,5 км) повышенной опасности**, из них 6 располагаются в Забайкальском крае и 16 – в Амурской области;
- Выделено **67 участков средней опасности (96,5 км)**, из них 28 располагаются в Забайкальском крае и 39 – в Амурской области.
- Определено **88 участков пониженной степени опасности**, их общая длина составляет 142,5 км. Из этих участков 37 приходится на Забайкальский край и 51 относится к Амурской части автодороги.



Использование разнообразной пространственной информации позволяет проводить районирование протяженных автодорог, проходящих по территориям с различными условиями



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

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

СЕМИНАР ФЕДЕРАЛЬНОГО ДОРОЖНОГО АГЕНТСТВА
БЛАГОВЕЩЕНСК | 19–21 АВГУСТА 2024 ГОДА