



Российская Академия Наук



**ИНСТИТУТ ГЕОЭКОЛОГИИ**  
**им. Е. М. СЕРГЕЕВА РАН (ИГЭ РАН)**

**22-й Международная ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, природных и антропогенных объектов)». Москва, Институт космических исследований Российской академии наук, 11-15 ноября 2024 г.**

Исследовательская работа на тему:

# **Особенности развития опасных экзогенных геологических процессов на автомобильных и железных дорогах в условиях многолетнемерзлых пород**



Институт космических исследований Российской академии наук

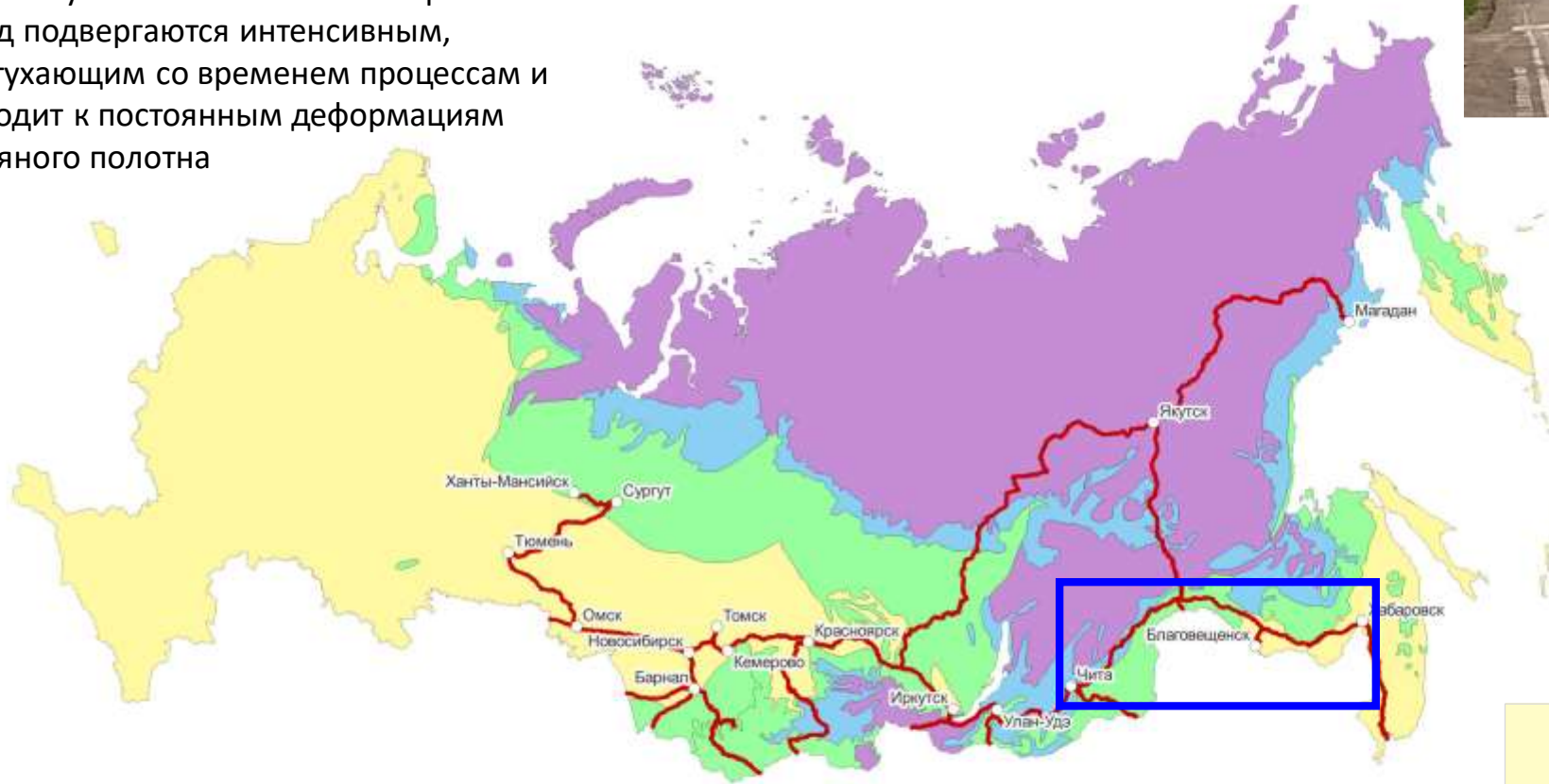
*Докладчик:*  
Кулаков Артем Павлович  
Москва, 2024



- **Актуальность.**
- При организации и эксплуатации автомобильных и железных дорог естественные экзогенные геологические и геокриологические процессы в ландшафтах усиливаются и изменяются во времени и пространстве, негативно влияя практически на все их компоненты. Поэтому исследования способности природных ландшафтов предотвращать и регулировать развитие криогенных геологических экзогенных процессов за счет организации и функционирования природно-технических систем (ПТС) становятся все более актуальными в условиях многолетнемерзлых пород.
- В научной работе рассматривается подход к картографированию и профилированию ландшафтов с многолетнемерзлыми породами с целью оценки условий и особенностей распространения и развития опасных экзогенных геологических и геокриологических процессов на железных и автомобильных дорогах.
- В работе определяется пространственная дифференциация ландшафтов с многолетнемерзлыми породами и исследуется интенсивность экзогенных геологических и геокриологических процессов на железных и автомобильных дорогах в различных природно-зональных условиях с помощью методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).
- Методика направлена на выявление корреляций между особенностями строения, развитием экзогенных геологических и геокриологических процессов и набором нарушений в течение нескольких десятилетий на ключевых участках железнодорожных и автомобильных дорог, расположенных в различных природно-зональных условиях.

## Главные автомобильные дороги в условиях многолетнемерзлых пород

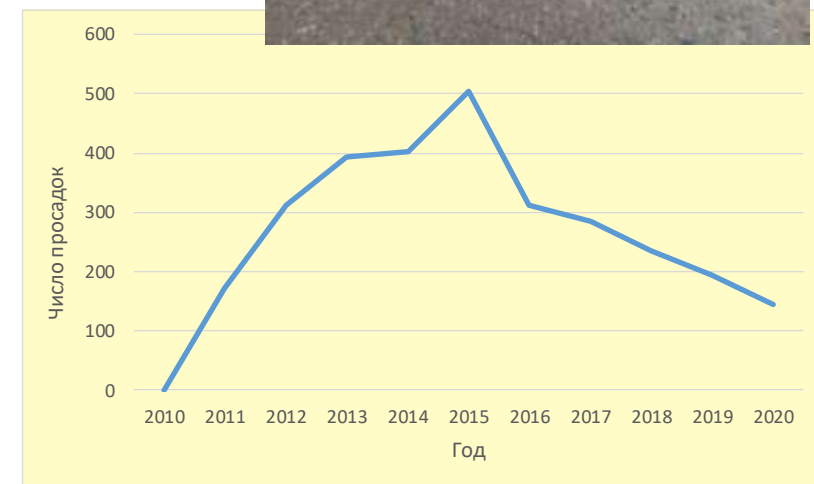
Дороги в условиях многолетнемерзлых пород подвергаются интенсивным, незатухающим со временем процессам и приводит к постоянным деформациям земляного полотна



- Дороги федерального значения
- Распространение многолетнемерзлых пород
  - отсутствует
  - островное
  - прерывистое
  - сплошное

0 750 1 500 км

**Протяженность федеральных трасс:**  
Сплошное распространение многолетнемерзлых пород – 4496 км  
Прерывистое распространение многолетнемерзлых пород – 2352 км  
Островное распространение многолетнемерзлых пород – 5533 км



# Районы исследования – ключевой участок 288 км автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск.

## *Геолого-географические условия*

Для района характерны высокотемпературные (до  $-1^{\circ}\text{C}$ ) многолетнемерзлые породы, мощностью до 100 м, имеющие сплошное и прерывистое (50–90%) распространение с наличием сквозных и несквозных таликовых зон по днищам долин.

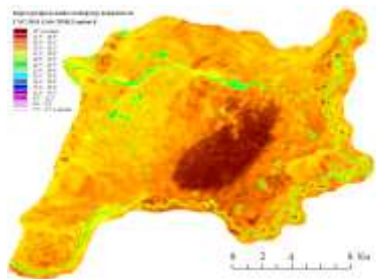
Район преимущественно представлен четвертичными аллювиальными, озерно-аллювиальными, пролювиальными, делювиальными, коллювиальными и элювиальными песчано-гравийными, суглинистыми, супесчаными и щебнистыми отложениями с выходами меловых песчаников.

Рельеф территории низкогорный холмистый и волнисто-увалистый с межгорными котловинами и пенепленами.

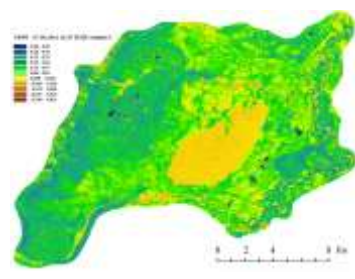
В районе преобладает резко-континентальный тип климата, а количество осадков в год составляет в среднем 400 мм. Среднегодовые температуры воздуха колеблются от  $-2.5^{\circ}\text{C}$  до  $-3.8^{\circ}\text{C}$  с явной тенденцией повышения среднегодовой температуры воздуха в последние годы до рекордных значений  $-1.2^{\circ}\text{C}$  (максимальная среднегодовая температура воздуха  $-6.5^{\circ}\text{C}$  была зарегистрирована в 1942 году). В течение апреля амплитуда максимальных и минимальных абсолютных температур воздуха способна достигать  $45^{\circ}\text{C}$ . Мощность снежного покрова в среднем не превышает 35 см.

На территории преобладает степная растительность на горно-луговых почвах, в понижениях и западинах появляются лугово-степные формации на дерново-глеевых почвах, в долинах крупных рек доминируют кустарники на аллювиальных почвах, а на склонах северной экспозиции произрастают лиственнично-березовые леса на мерзлотно-таежных почвах.

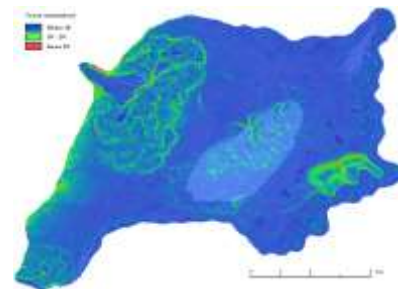
В районе распространены криогенные (в большей степени термокарст, морозобойное растрескивание и повторно-жильное льдообразование, наледообразование) и эрозионные процессы, а на склонах водоразделов – оползневые процессы.



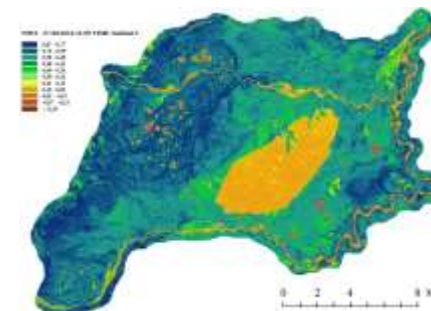
*Температура поверхности*



*NDWI (Водный индекс)*



*Рельефа*



*NDVI (Вегетационный индекс)*

## Цели и задачи исследования

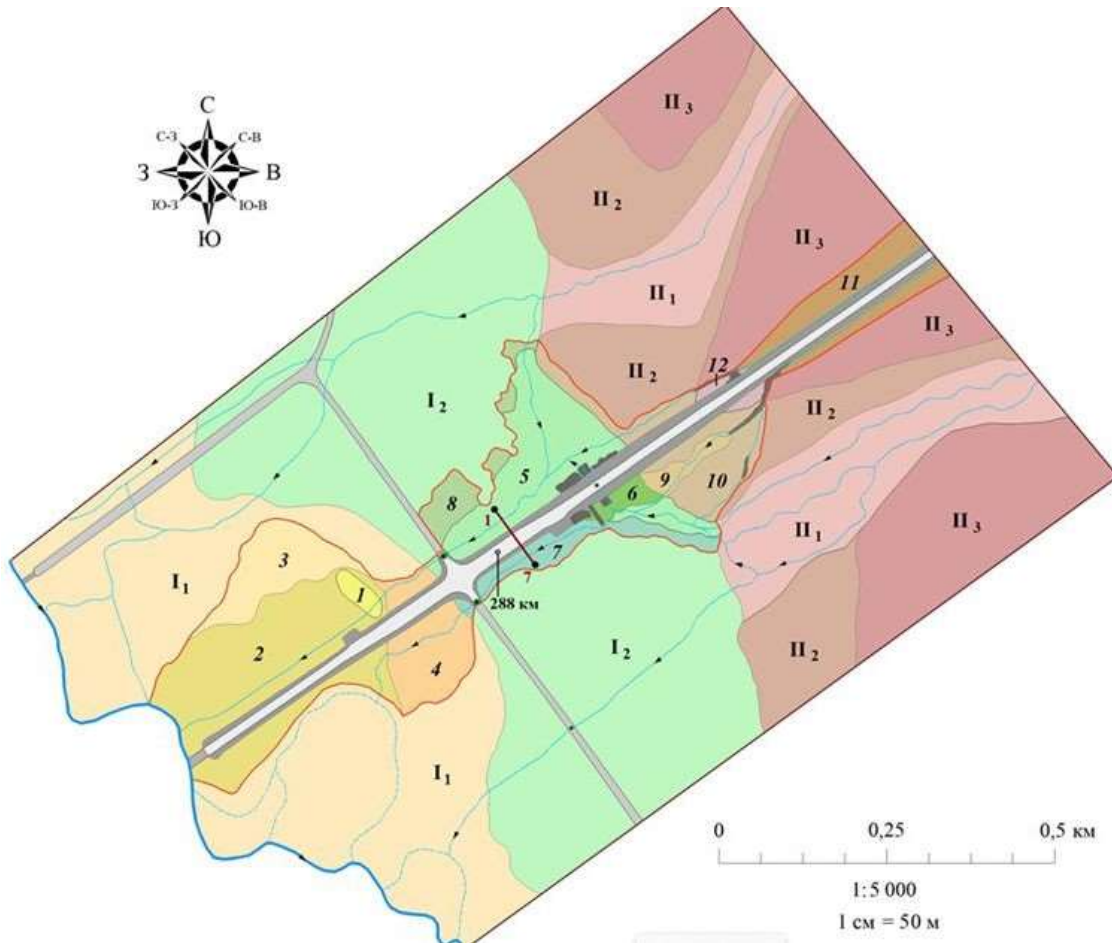
- **Целью исследования** является выявление пространственной дифференциации, условий и факторов проявления экзогенных геологических и геокриологических процессов на автомобильных и железных дорогах, расположенных в условиях многолетнемерзлых пород на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).
- **Задачи исследования:**
  - 1. Рассмотреть геолого-географические условия ключевого участка автомобильной дороги «Амур» и составить ландшафтно-геокриологическую карту на ключевой участок исследования в районе 288 км;
  - 2. Оценить изменения геокриологических условий и выяснить причины деформаций земляного полотна на ключевом участке исследования в районе 288 км;
  - 3. Выявить дешифровочные признаки и индикаторы для оценки развития опасных экзогенных геологических и геокриологических процессов на автомобильных и железных дорогах.

# Материалы и методы исследования

- Метод дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) включал обработку и дешифрирование космических (Landsat-8, Sentinel-2) и аэрофотоснимков, в том числе обработку данных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), расчет и анализ тепловых снимков, NDVI, NDWI, SRTM data v.4.
- Районирование и профилирование, анализ и обработка данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) выполнены с использованием программного обеспечения ArcGIS 10.5, MultiSpec 32 и SAS.Planet.
- Метод дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) подкреплялся ландшафтно-индикационным методом исследования: в полевых условиях проводились рекогносцированные исследования, отбирались образцы грунта в скважинах и проводились лабораторные исследования характеристик грунтов.
- Для установления межкомпонентных связей в криогенных ландшафтах с помощью дистанционного дешифрирования фиксировались индикаторы и особенности ландшафтно-мерзлотных условий (геологическое и почвенное строение, форма рельефа, распространение растительного покрова, поведение поверхностных вод, климатические особенности) и проявления экзогенных геологических и геокриологических процессов.
- Дополнительная информация была получена с помощью топографических и специальных отраслевых карт (геологических, геоморфологических, геоботанических, ландшафтных, мерзлотных карт и карт четвертичных отложений), а также методом экстраполяции данных с соседних участков в результате дешифрирования аэрофотоснимков и космических снимков.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА КАРТЕ

### Ландшафтно-геокриологическое районирование ключевого участка 288 км автомобильной дороги Амур по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)



#### I. Долина реки Олов

*I<sub>1</sub>. Субгоризонтальная пойма. ММП прерывистые. Криотекстура массивная, корковая с объемной льдистостью 0.1–0.3 доли ед. Глубина СТС 1–3 м. Растительность луговая, вдоль русел кустарниковая. Почвы дерново-глеевые мерзлотные и аллювиальные.*

##### Производные геосистемы (ПТС) I<sub>1</sub>

1. Ложбинные (усиление подтопления и заболачивания, активизация термокарста по погребенным льдам).
2. Плоскозападинные (усиление подтопления и заболачивания, криогенного пучения и наледеобразования).
3. Слабоволнистые (усиление подтопления).

4. Плоскобугристые слабоогнутые (усиление поверхностного стока, активизация эрозии).

*I<sub>2</sub>. Плоскобугристая полигональная надпойменная терраса. ММП сплошные. Криотекстура массивная, порфириовидная с объемной льдистостью 0.2–0.4 доли ед. Глубина СТС 2.5–4 м с перелетками до 7 м. Растительность разнотравно-злаковая. Почвы дерново-луговые мерзлотные.*

##### Производные геосистемы I<sub>2</sub>

5. Пологонаклонные и бугристо-западинные (усиление поверхностного стока и заболачивания, морозобойного растрескивания, активизация термокарста по повторно-жильным льдам и эрозии, появление трещин и перелетков ММП).
6. Ложбинные (усиление поверхностного стока, эрозии).
7. Плоскобугристые (усиление поверхностного стока).
8. Бугорковато-западинные (усиление поверхностного стока и заболачивания, активизация термокарста по повторно-жильным льдам, появление трещин и озерков).

#### II. Коренные склоны долины

*II<sub>1</sub>. Пологонаклонные днища балок. ММП сплошные. Криотекстура массивная, корковая с объемной льдистостью 0.1–0.3 доли ед. Глубина СТС 2.5–3.5 м. Растительность луговая, местами кустарниковая. Почвы луговые мерзлотные. Экзогенные процессы – эрозия, поверхностный смыл.*

*II<sub>2</sub>. Пологие склоны долины. ММП сплошные. Криотекстура корковая, тонкая линзовидная с объемной льдистостью 0.1–0.2 доли ед. Глубина СТС 2.5–3.5 м. Растительность дерновинно-злаковая. Почвы горно-луговые мерзлотные.*

##### Производные геосистемы II<sub>2</sub>

9. Пологосклонные плосколожбинные (усиление поверхностного стока, активизация эрозии, появление конусов выноса).
10. Пологосклонные выпукло-вогнутые (усиление поверхностного стока, активизация эрозии).

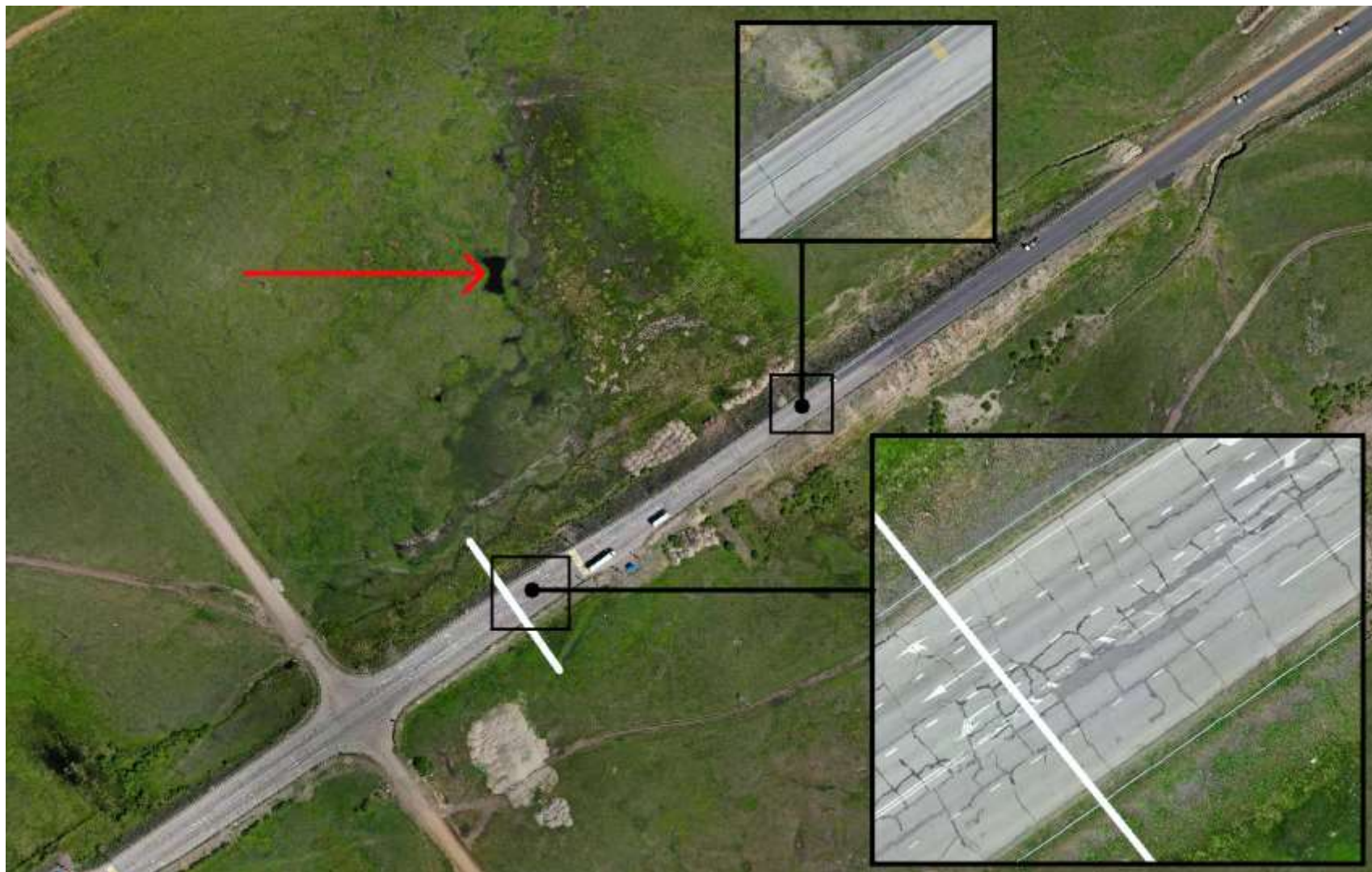
*II<sub>3</sub>. Круто-покатые склоны долины. ММП сплошные. Криотекстура корковая, льдистость 0.1–0.2 доли ед. Глубина сезонно-талого слоя 2.5–3.5 м. Растительность дерновинно-злаковая на освещенных склонах, лугово-лесная на затененных склонах. Почвы горно-луговые и мерзлотно-таежные.*

##### Производные геосистемы II<sub>3</sub>

11. Трапециевидные выемки со склонами 40° (активизация поверхностного стока и эрозии, появление трещин отседания).
12. Покатые склоны (активизация поверхностного стока и эрозии).


Экзогенные процессы: морозобойное растрескивание и повторно-жильное образование, термокарст, наледеобразование, подтопление.

- Распределение трещин на дорожном полотне и процесс термокарста по ПЖЛ (показан стрелкой) вдоль ключевого участка 288 км автомобильной дороги «Амур».



Фрагмент ледогрунта на глубинах 5–7 м под южной частью насыпи.



## Дешифровочные признаки и индикаторы оценки развития опасных экзогенных геологических и геокриологических процессов

- Литологический состав, структура, ледовитость (влажность), глубина слоя сезонного таяния, среднегодовая температура горных пород;
- Форма, расчленение, положение, крутизна, экспозиция дневной поверхности;
- Количество осадков в теплый период, сумма положительных температур воздуха, мощность и площадь снежного покрова в холодный период;
- Сток поверхностных и подземных вод (приток и перемещение);
- Растительный покров (видовой состав и структура растительных сообществ, сомкнутость крон деревьев, густота подлеска);
- Степень активации, скорость и область распространения экзогенных геологических и геокриологических процессов.

## Заключение

- Наиболее опасные участки занимают отрицательные формы рельефа и характеризуются натечным водным режимом в условиях слабого дренажа подстилаемых суглинистых грунтов. К таким участкам относятся низкие поймы и присклоновые западины надпойменных террас, а также днища ложбин стока и падей. Для них характерно наличие луговых и влаголюбивых травянистых видов растительности, а в почвах отмечаются признаки оглеения и оторфованности. Здесь чаще всего повторяются криогенные процессы в виде морозобойного растрескивания и повторно-жильного льдообразования, криогенного пучения и наледеобразования. На поверхности диагностируются криогенные формы рельефа в виде сезонных бугров пучения, термокарстовых западин, кочек, озерков и морозобойных трещин. Нарушения поверхностного и подземного стока в пределах первой надпойменной террасы приводят к активизации термокарста и вытаиванию льдистых горизонтов, наблюдается просадки земляного полотна.



*Спасибо за внимание!*

