

ГеоЕвразия-2022 Геологоразведочные технологии: наука и бизнес

www.gece.moscow

30 марта-1 апреля 2022

организаторы













спонсоры









Автоматизированный линеаментный анализ при геологическом таргетировании, поисках и разведке рудных месторождений

> <u>Читалин Андрей Федорович, Агапитов</u> Д.Д., Сивков Д.В., Гришин Е.М., Чикатуева В.Ю., Михайлов А.С., Попов C.C.

> > Институт геотехнологий

# План доклада

- Цель автоматизированного линеаментного анализа
- Методика LESSA
- Примеры применения в рудной геологии:
- > при <u>геологическом таргетировании</u> выбор перспективных поисковых участков
- > > при поисках месторождений –прогноз рудных узлов и полей
- >> при разведке месторождений прогноз структурных ловушек рудной минерализации, уточнение морфологии рудных тел
- Выводы



# Цель автоматизированного линеаментного анализа

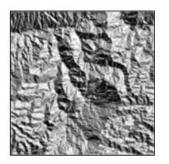
Цель: выделение потенциально рудоконтролирующих разрывов и зон трещиноватости, штокверков. Прогноз структурных ловушек.

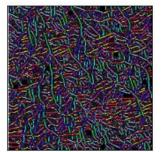
Ручное выделение линеаментов при обычном дешифрировании субъективно:

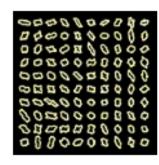
- опыт показывает, что разными геологами по одним и тем же космоснимкам или аэрофотоснимкам могут быть отдешифрированы различные линеаменты и структуры;
- нередко выделяются кольцевые структуры, которые реально не существуют и не подтверждаются полевыми исследованиями.

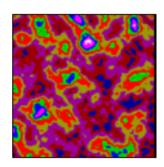


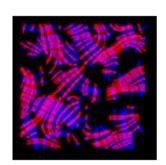
#### Методика автоматизированного линеаментного анализа LESSA

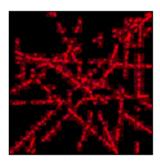








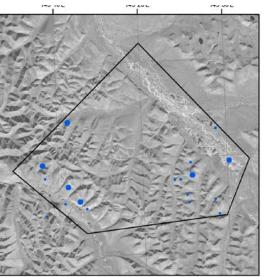




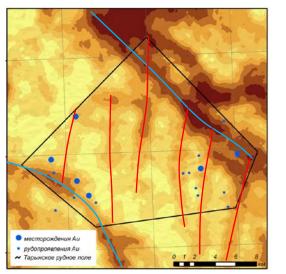
- Используется компьютерная технология автоматизированного линеаментного анализа LESSA (Lineament extraction and stripe statistical analysis), разработанная в СССР в 80-х годах прошлого века и в дальнейшем усовершенствованная (Златопольский, Малкин, 2005). Существуют также зарубежные программы компьютерного анализа линеаментов.
- С помощью LESSA выявляются линейные элементы изображения и количественно определяются их основные свойства: ориентировка на розах-диаграммах, плотность линейных элементов. Выделяются протяженные линеаменты.
- Дополнительные структурные характеристики: характеристики формы роз-диаграмм, вектора и линии вытянутости, сходство соседних роз-диаграмм и др.
- LESSA предоставляет специалисту объективные данные об исследуемой территории, помогая ему принять решение.



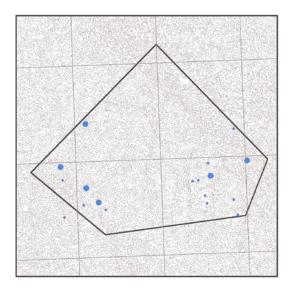
Панхроматическое изображение Landsat 8



Карта удельной плотности всех линеаментов



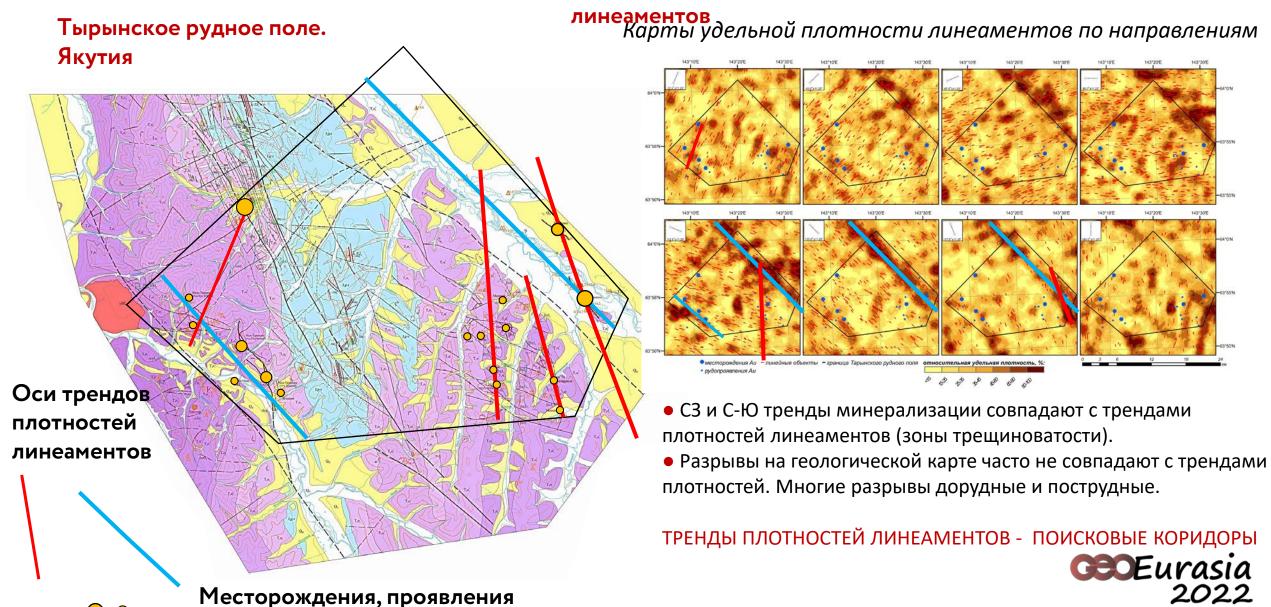
Штрихи, выделенные LESSA



Золоторудные месторождения и проявления контролируются зонами разрывных нарушений СЗ и С-Ю простирания

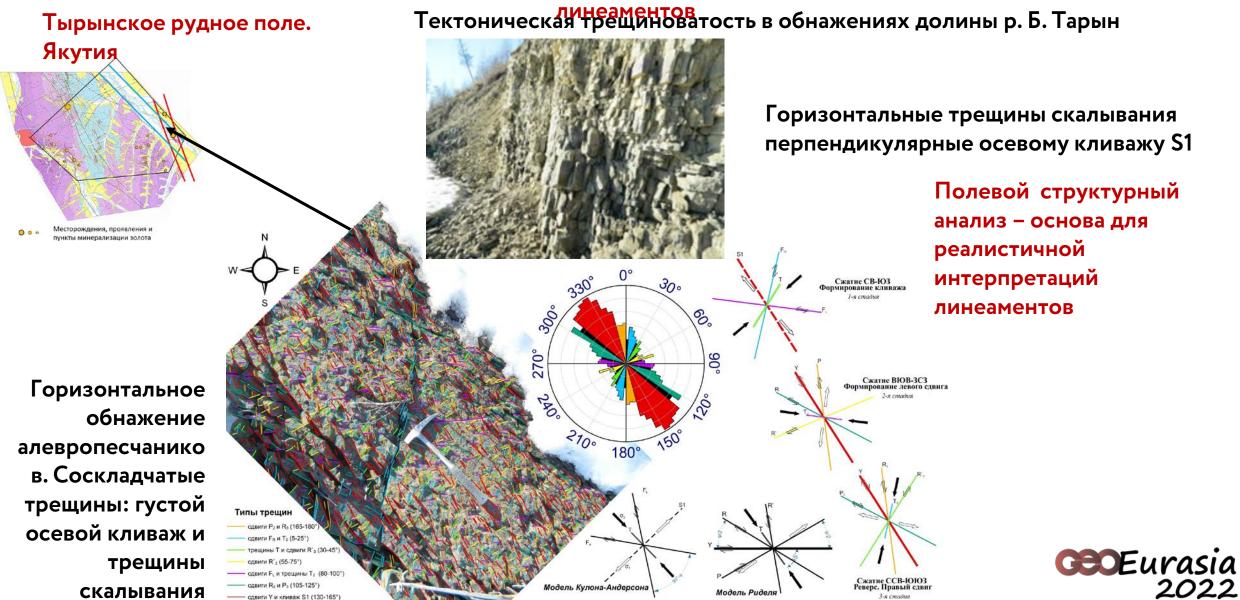


### Структурная интерпретация



и пункты минерализации

### Структурная интерпретация



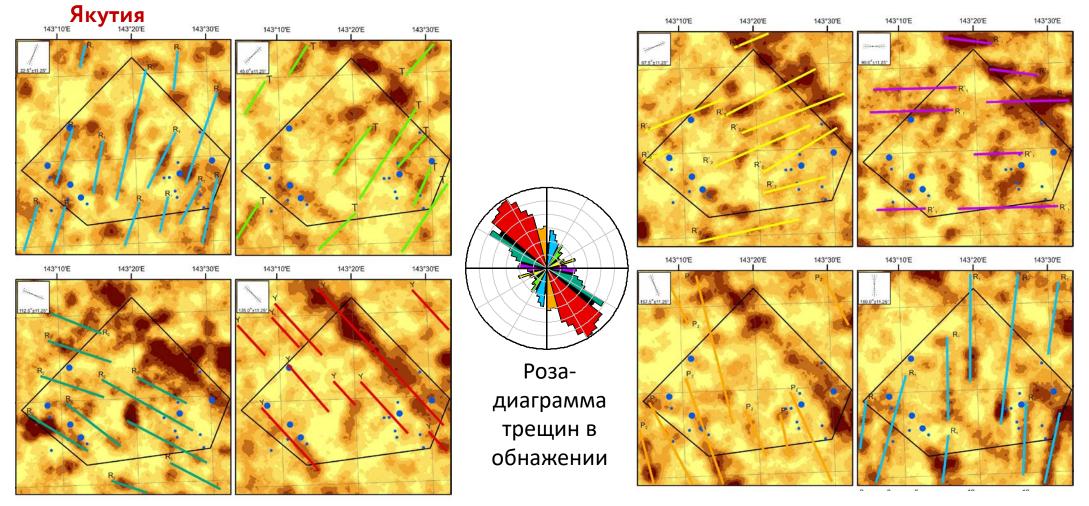
скалывания

сдвиги Y и кливаж S1 (130-165°)

### Структурная интерпретация

### Тырынское рудное поле.

# Тренды плотностей линеаментов разных направлений

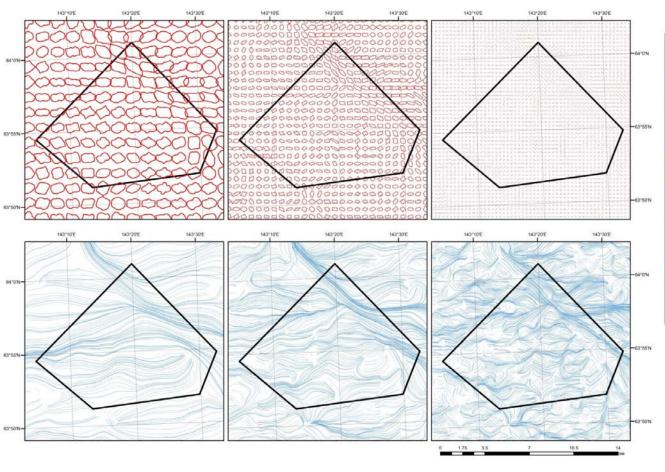




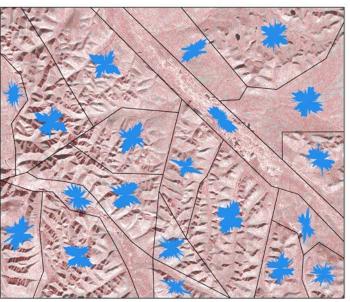
### Структурная интерпретация линеаментов

#### Тырынское рудное поле.

# **Якутия** Выделение участков с однородной ориентировкой линейных объектов



#### Выделение структурных доменов



Домены, выделенные по линиям вытянутости роз-диаграмм

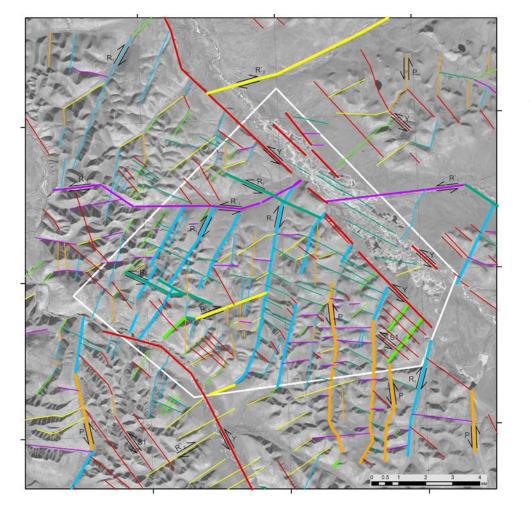
Выделение структурных доменов - для районирования и анализа закономерностей распределения рудной минерализации и т.д.



### Структурная интерпретация

Тырынское рудное поле.

Отдешифрированные вручную линеаменты. Интерпретация: разрывы разного возраста и кинематики



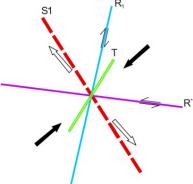
лине<u>а</u>ментов

Этапы развития разрывной структуры Адыча-Тарынского разлома и контроль золоторудной

1-й этап. Кливаж

минерализации 2-й этап. Левый сдвиг

3-й этап. Правый сдвиг



Сжатие СВ-ЮЗ Формирование кливажа

линеаментов

совпадают с

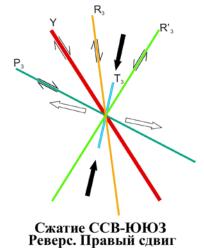
линеаментов

системами

Системы

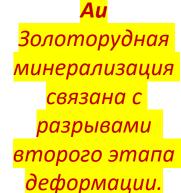
«ручных»

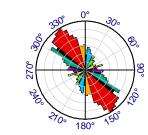
Сжатие ВЮВ-ЗСЗ Формирование левого сдвига 2-ая стадия



3-я стадия

«компьютерных»







Выраженность линеаментов в геофизических полях

# Тырынское рудное поле. Якутия

Карта аномального магнитного поля

143'20E

143'20E

143'20E

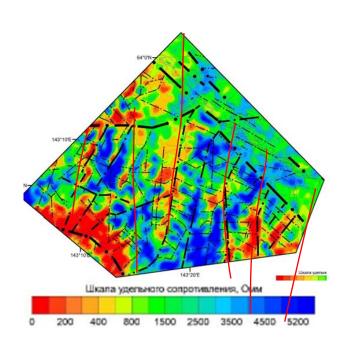
143'30E

143'30E

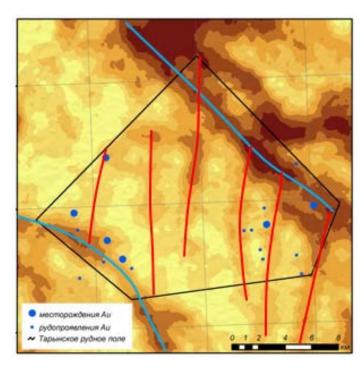
143'30E

143'30E

Карта удельного сопротивленеия на глубине 150 м



Карта удельной плотности всех линеаментов



Многие линейные аномалии проводимости совпадают с линеаментами и трендами плотностей линеаментов и отражают потенциально рудоносные структуры – ПОИСКОВЫЕ КОРИДОРЫ!



Интерпретация линеаментов с учетом известных структурных Тырынское рудное поле. моделей Структурно-кинематическая модель месторождения Якутия Дражное (Читалин и др. 2018) ССЗ тренд плотностей линеаментов соответствует Eurasia 2022 рудоносной зоне левого сдвига, пересекающей зону

Адыча-Тарынского разлома

Месторождения, проявления

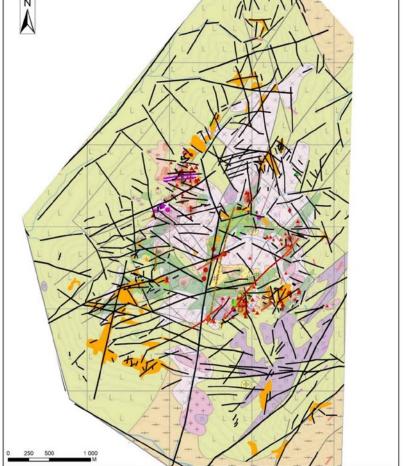
и пункты минерализации

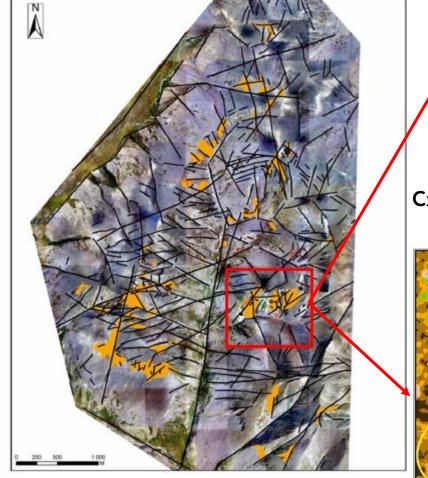
Золото-медно-порфировая система в Восточной

Бурятии

Геолого-поисковый план по результатам полевых работ

Ортофотоплан БПЛА с отдешифрированными вручную линеаментами и зонами лимонитизации





Линеаменты при разных порогах

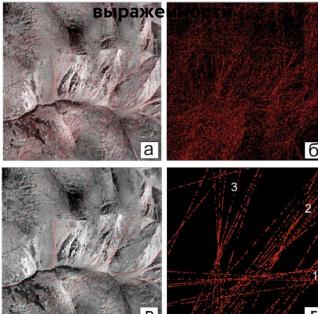
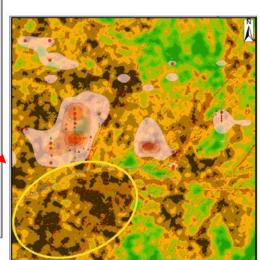


Схема плотностей линеаментов и почвенные аномалии золота



Желтым цветом выделен контур предполагаемого рудного штокверка

CEOEurasia 2022

Золоторудный участок в Южной Якутии Линеаменты на карте удельных плотностей

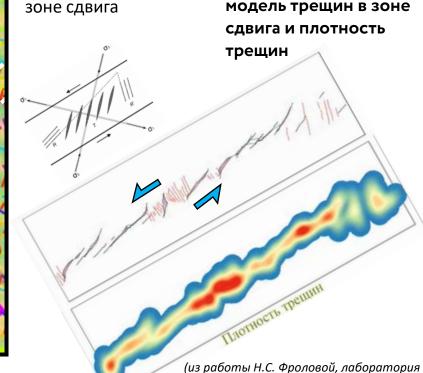
Определение сдвиговой кинематики трендов плотностей линеаментов на основе модели сопряженных сколов Риделя и тектонофизической модели

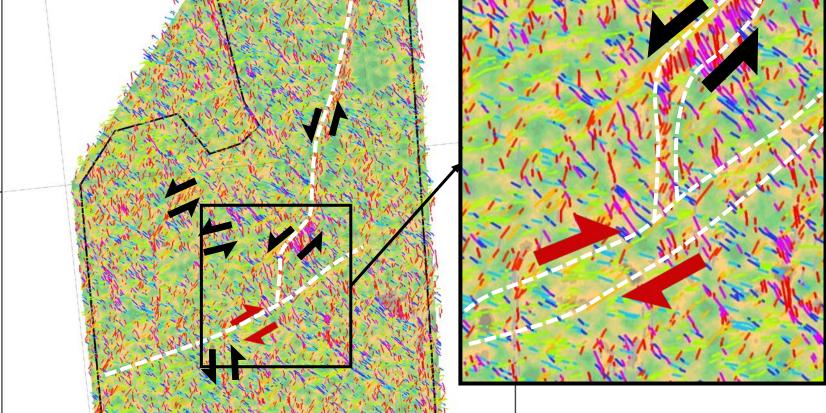
сдвига

Определение кинематики сдвиговых зон

Трещины Риделя в зоне сдвига

Тектонофизическая модель трещин в зоне сдвига и плотность трещин





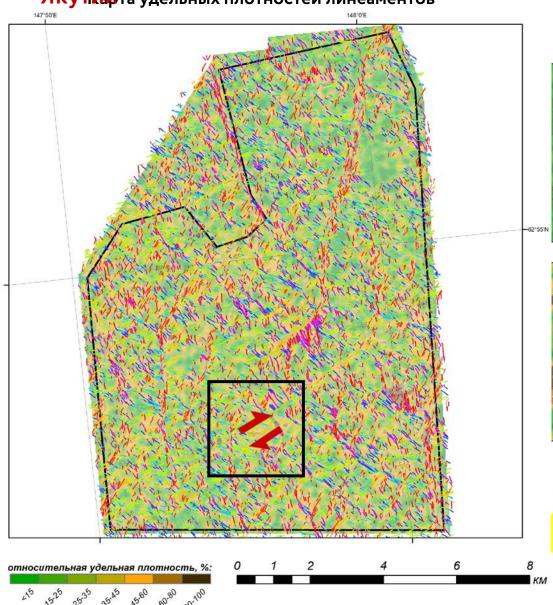
Кинематика сдвиговых зон: дорудных и пострудных, синрудных

Eurasia 2022

тектонофизики геологического ф-та МГУ)

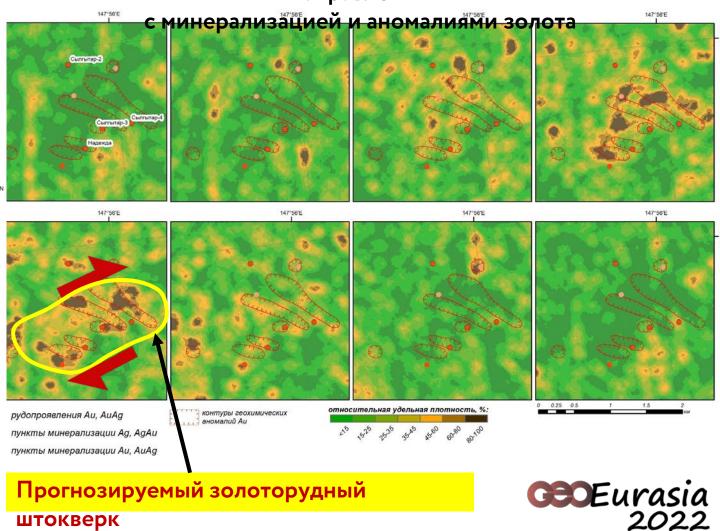
# Золоторудный участок в Южной





### Прогноз структурных ловушек минерализации

# Соотношение трендов плотностей линеаментов разных направлений

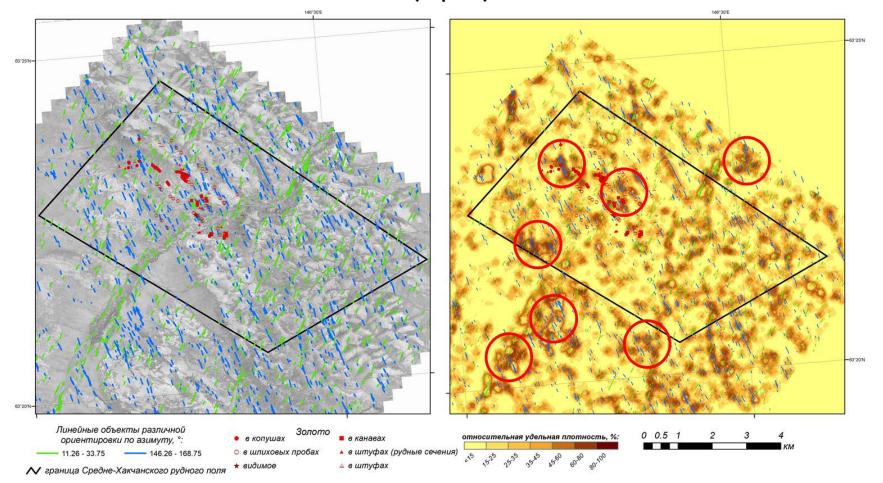


штокверк

Зона рудоконтролирующего сдвига

## Золоторудное поле в Южной Якутии.

Линеаменты ориентировок  $22.5\pm11.25^{\circ}$  (зеленые) и  $157.5\pm11.25^{\circ}$  (синие) на материалах спутниковой съемки системы WorldView (слева) и на карте удельных плотностей (справа).



#### Прогноз рудных штокверков

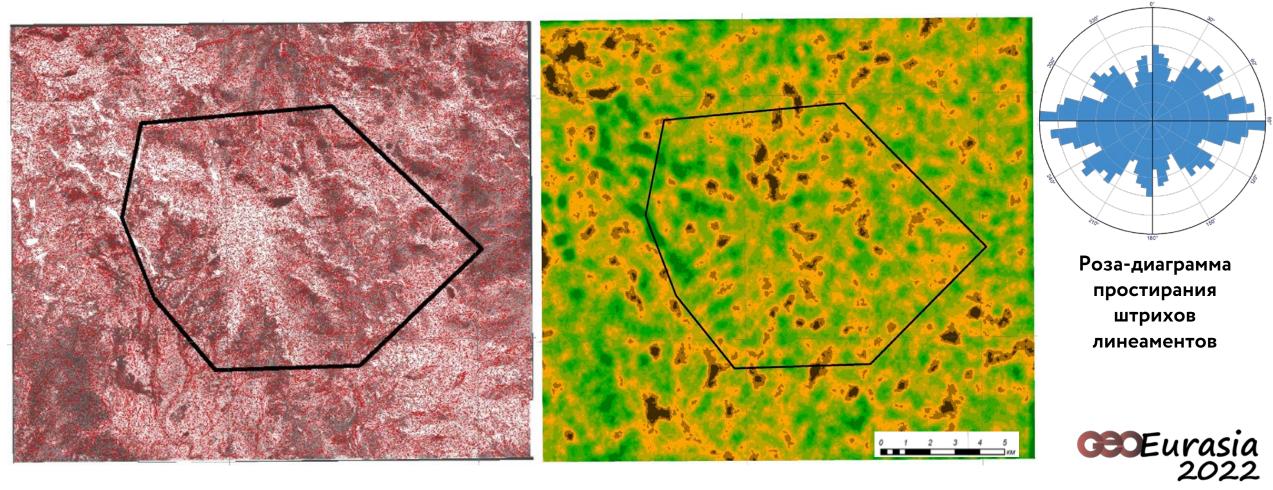
Аномалии золота и кварцевые штокверки часто совпадают с узлами пересечения трендов высокой плотности линеаментов ССВ и ЮВ простирания.

Красными кружками выделены узлы пересечения трендов, перспективные для поисков золоторудных штокверков



## Участок с медно-порфировой минерализацией. Магаданская область

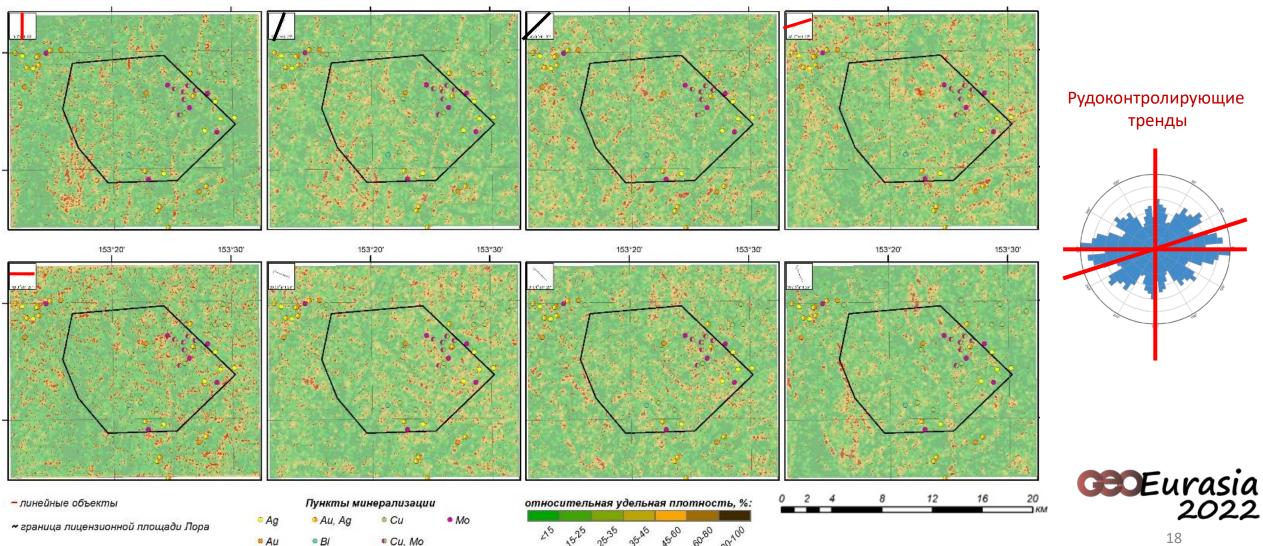
Штрихи, выделенные на спутниковом снимке с порогом длины штриха 20 м Карта удельной плотности штрихов, рассчитанная в скользящем окне диаметром 500 м.



Участок с медно-порфировой минерализацией. Магаданская область

Анализ направлений линеаментов. Выделение рудоконтролирующих структур

Рудопроявления и штрихи-линеаменты на картах плотностей линеаментов восьми различных ориентировок (диаметр окна сглаживания 125 м)

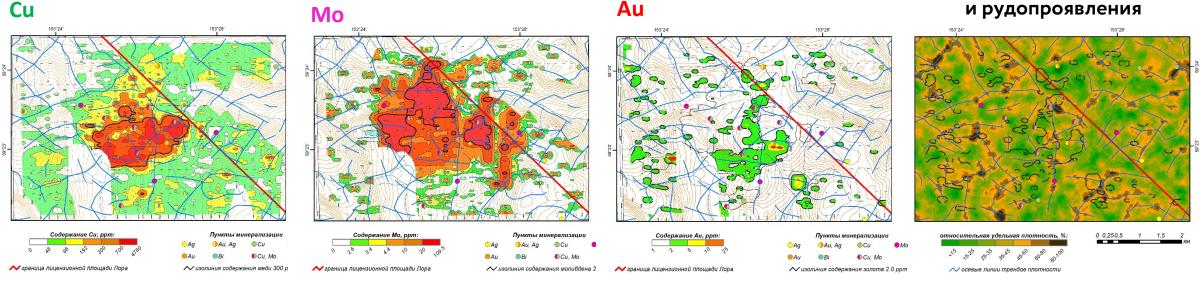


Участок с медно-порфировой минерализацией. Магаданская область

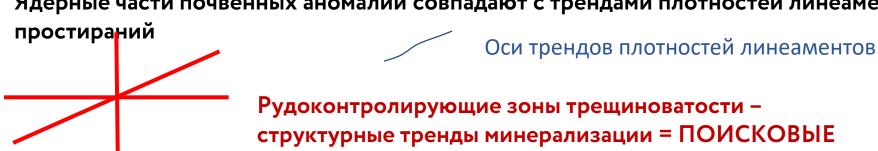
Почвенные аномалии меди, молибдена, золота и проявления молибден-медно-порфировой минерализации.

Анализ направлений линеаментов Выявление структурных трендов минерализации

Тренды удельных плотностей линеаментов и рудопроявления



Ядерные части почвенных аномалий совпадают с трендами плотностей линеаментов С-Ю, 3-В, СВ

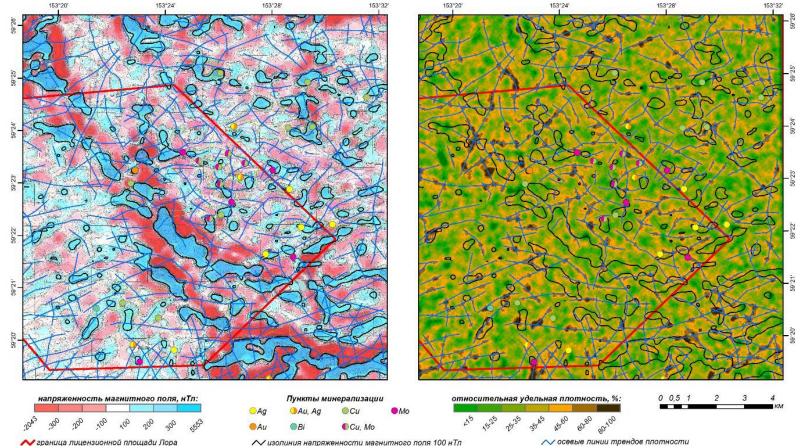


КОРИДОРЫ



### Участок с медно-порфировой минерализацией. Магаданская область

Сопоставление аномалий локальной составляющей аномального магнитного поля по данным аэромагниторазведки и аномалий удельной плотности штрихов



Выявление структурных трендов минерализации, интерпретация магнитных аномалий

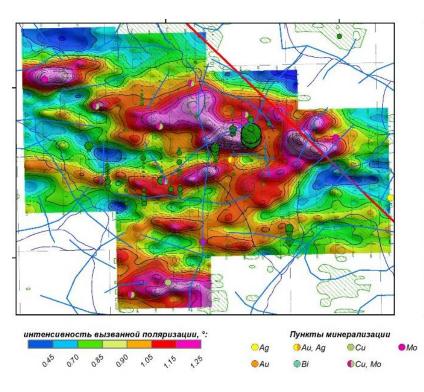
- Многие структурные тренды (зоны сгущения трещин и разрывов) совпадает с линейными магнитными аномалиями или их градиентными зонами.
- Рудопроявления Си, Мо, Аи, Ад локализованы в отрицательных локальных аномалиях магнитного поля, совпадающих со структурными трендами повышенной и высокой плотности линеаментов, где предполагаются метасоматические изменения и замещение первичного магматического магнетита в интрузивных породах (демагнетизация), возможная медно-порфировая минерализация.
- Отрицательные магнитные аномалии и тренды плотностей линеаментов поисковые коридоры

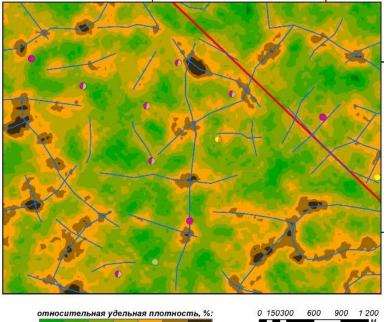




# Участок с медно-порфировой минерализацией. Магаданская область

Сопоставление аномалий вызванной поляризации (ВП) и аномалий удельной плотности штрихов. Синими линиями показаны оси трендов повышенной и высокой плотности линеаментов





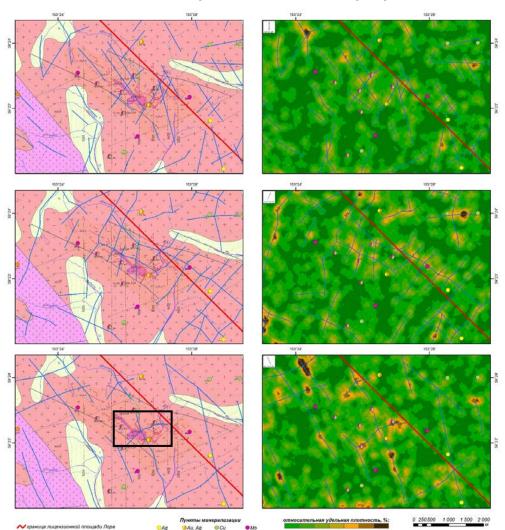
Выявление структурных трендов минерализации, интерпретация аномалий ВП

- Тренды высокой и повышенной плотности линеаментов (структурные тренды зоны трещиноватости), как правило, пересекают линейные аномалии ВП
- Рудопроявления Cu, Mo, Au, Ag локализованы в контурах аномалий ВП
- Узлы пересечения структурных трендов совпадают с аномалиями ВП. Наблюдаемые соотношения структурных трендов и аномалий ВП можно объяснить наложением рудоносных структур (отраженных аномалиями ВП) на дорудную структуру разломов и трещин;
- Только некоторые дорудные структуры стали рудоносными.
- Тренды плотностей линеаментов в контурах аномалий ВП поисковые коридоры

### Участок с медно-порфировой минерализацией. Магаданская область

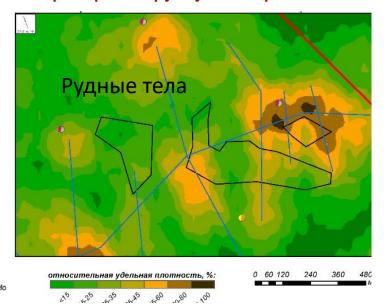
# Корректировка разведочной сети

Сопоставление рудоконтролирующих трендов удельных плотностей штрихов с дайками и разрывами



- Тренды плотности линеаментов субмеридионального и ССВ простираний совпадают с дайками, разрывными нарушениями СЗ и СВ простираний, контролирующих рудопроявления.
- Эти тренды и узлы их пересечения могут контролировать рудную минерализацию.





- Меридиональные структурные тренды, возможно контролирующие богатую минерализацию, пересекают широтное рудное тело
- При разведке меридиональной сетью вертикальных скважин могла быть пропущена богатая минерализация. Рекомендуется веерное бурение для проверки гипотезы
- Выбрать оптимальные параметры разведочной сети при доразведке рудопроявления



# Выводы

- Автоматизированный линеаментный анализ эффективный структурный метод при геологическом таргетировании, поисках и разведке рудных месторождений
- Результат выделение потенциально рудоконтролирующих разрывов и зон трещиноватости, прогнозирование структурных ловушек рудной минерализации, богатых руд.
- Для интерпретации линеаментов используются структурно-геологические, геохимические и геофизические данные
- Результаты интерпретации заверяются в поле геологическим картированием и структурными методами





# Спасибо за внимание!

Читалин Андрей Федорович

Институт геотехнологий (ИГТ)

организаторы











#### спонсоры







