

Двадцать вторая международная конференция  
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

# Анализ спутниковых снимков Sentinel-2 при зонировании территории по степени карстовой опасности

---

ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА ДРОБИНИНА<sup>1</sup>

ЕЛИЗАВЕТА РОМАНОВНА РОМАНОВА<sup>2,3</sup>

МАРИНА АЛЕКСЕЕВНА КИТАЕВА<sup>1</sup>

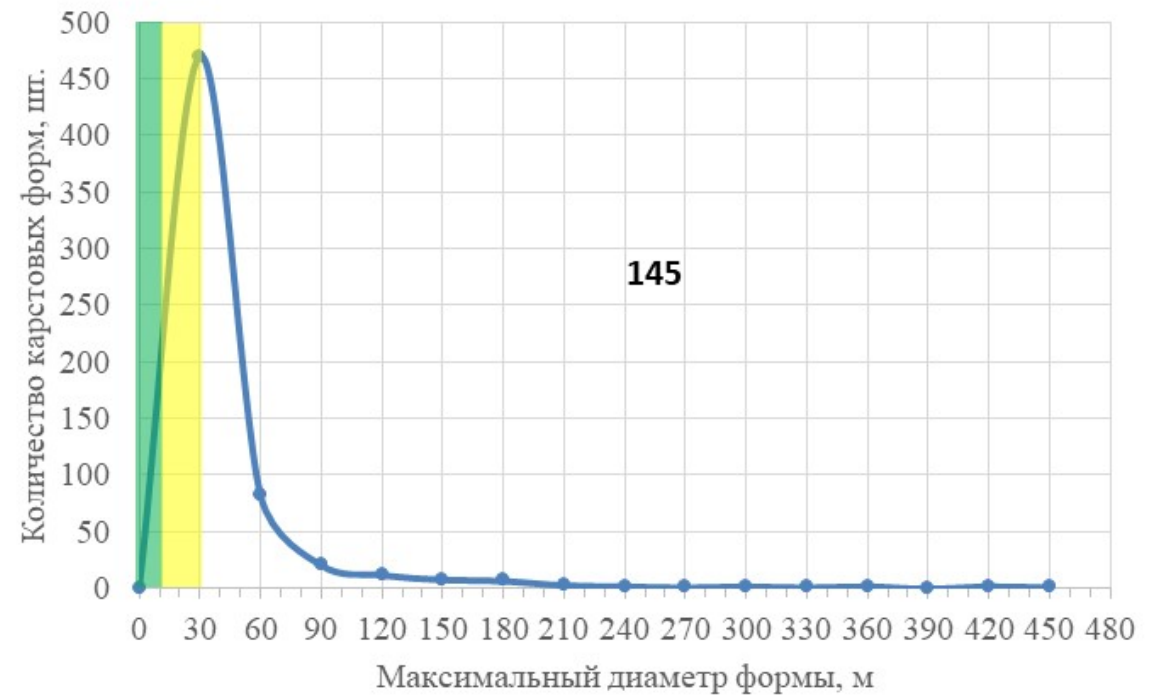
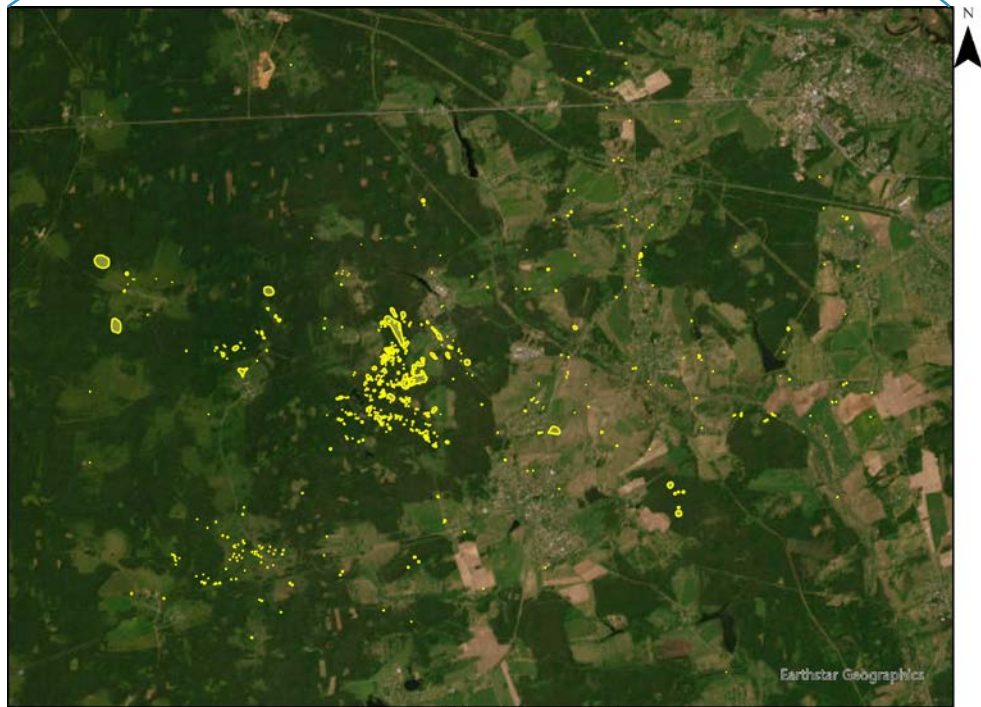
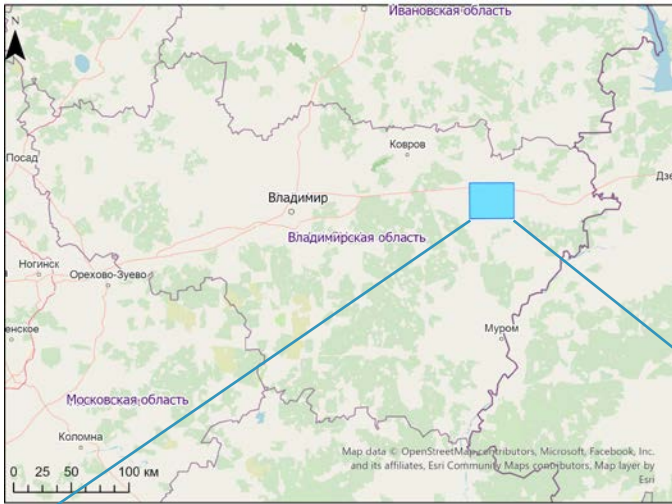
<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, "аучно-исследовательская лаборатория инженерно-экологических исследований"

<sup>2</sup>Институт геоэкологии им Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), лаборатория экзогенной геодинамики и анализа геологического риска

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра инженерных изысканий и геоэкологии

# Актуальность работы

*Распространение карстовых форм на изучаемой территории*



*Распределение карстовых форм на Пивоваровском карстовом участке по значениям максимальных диаметров*

# Цель и задачи исследования

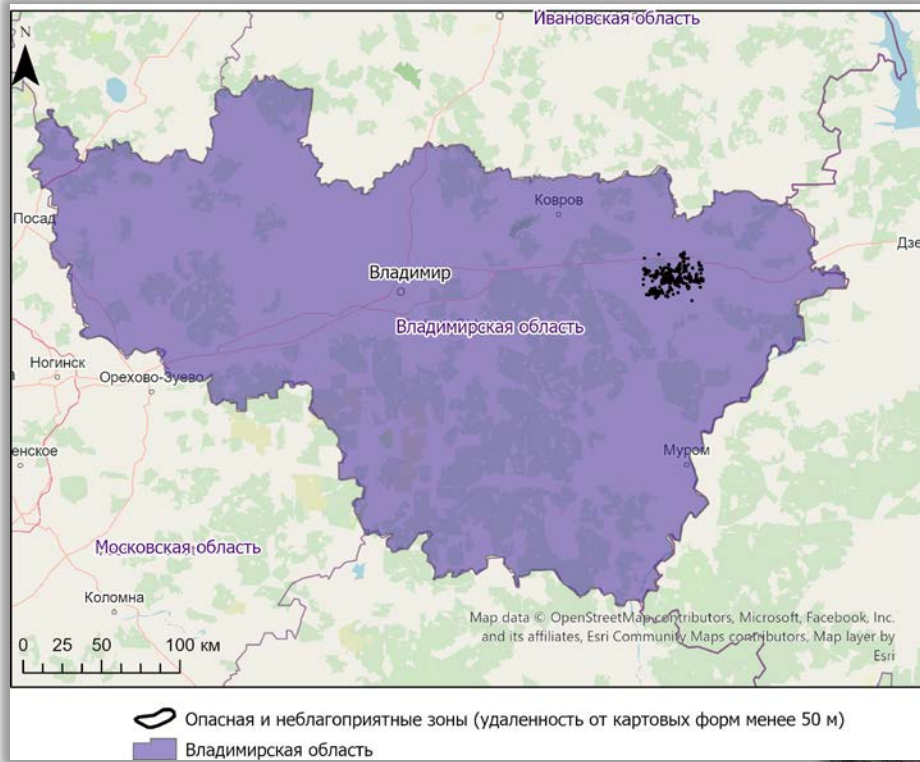
Цель - зонировании территории по степени карстовой опасности

---

## Задачи:

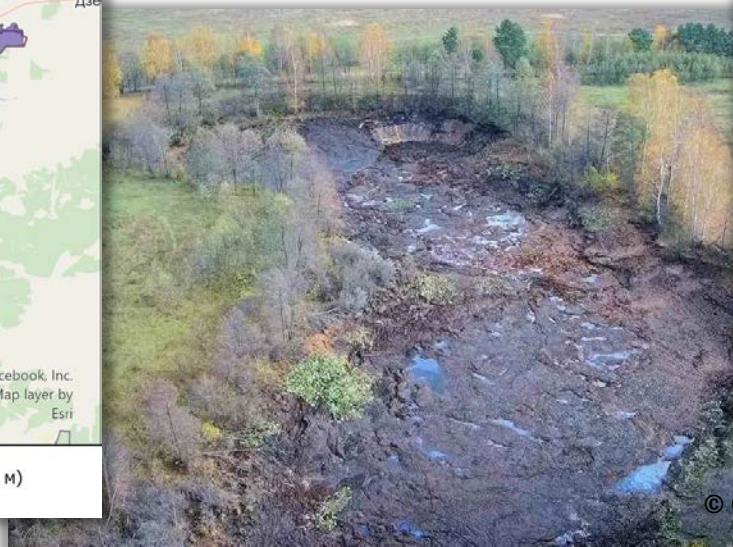
- Анализ применимости вегетационных индексов как косвенных индикаторов поверхностной закарстованности
- Расчет спектральных индексов
- Построение растровой модели плотности карстовых форм как показателя поверхностной закарстованности
- Нормализация анализируемых параметров
- Построение модели множественной регрессии и расчет коэффициентов прогнозной модели
- Построение карты зонирования территорию по степени карстовой опасности

## Местоположение



# Объект исследования

Типовой облик карстовых форм района



© Отчет по теме: «Научно-исследовательские работы на карстоопасных объектах Вязниковского района Владимирской области», 2003 г.

© ООО ПКИБЗ



© Отчет по теме: «Научно-исследовательские работы на карстоопасных объектах Вязниковского района Владимирской области», 2003 г.



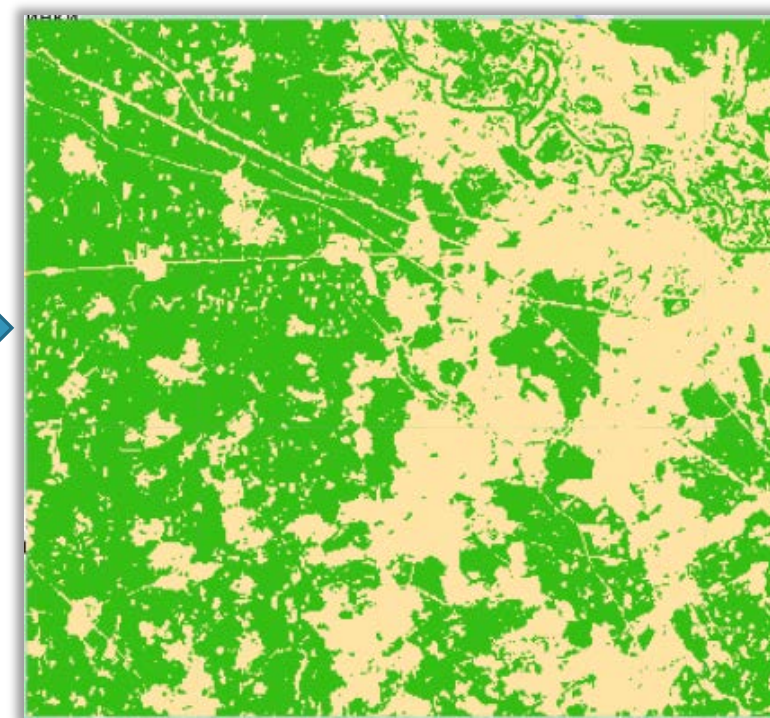
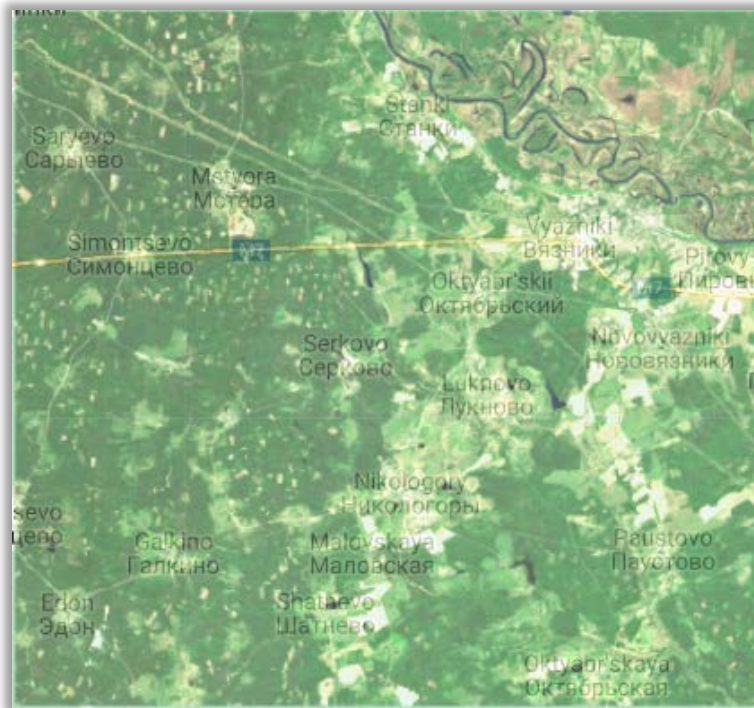
© ООО ПКИБЗ

# Выделение участков исследования (не леса)

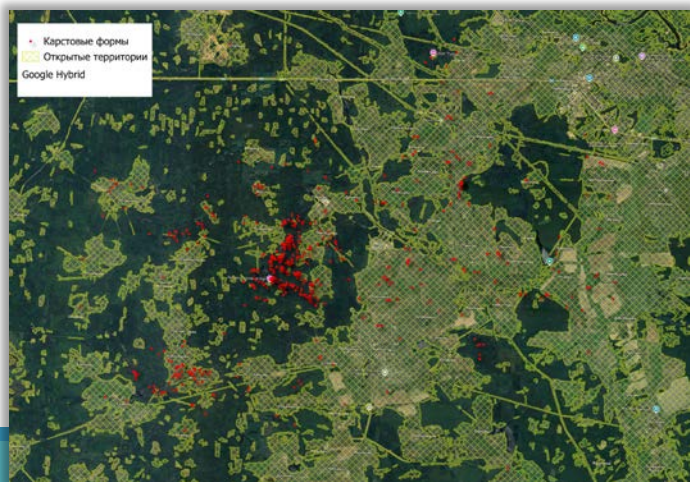
*Спутниковое  
изображение в RGB  
каналах*

*Бинаризованное изображение:  
открытая поверхность и  
покрытая лесом*

Классификация (алгоритм CART) с целью разделение территории по типам растительного покрова: участки лесной и луговой растительности.

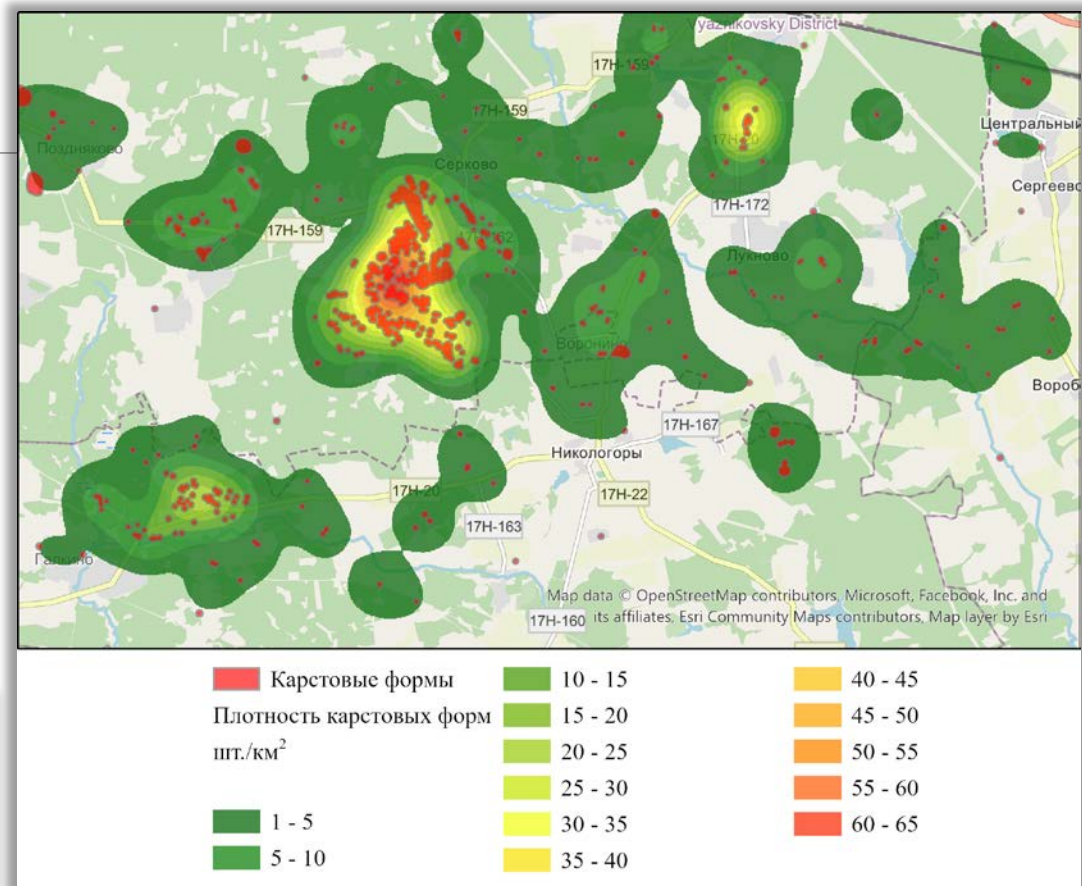


*Векторизованные  
очищенные от шумов  
открытые территории*



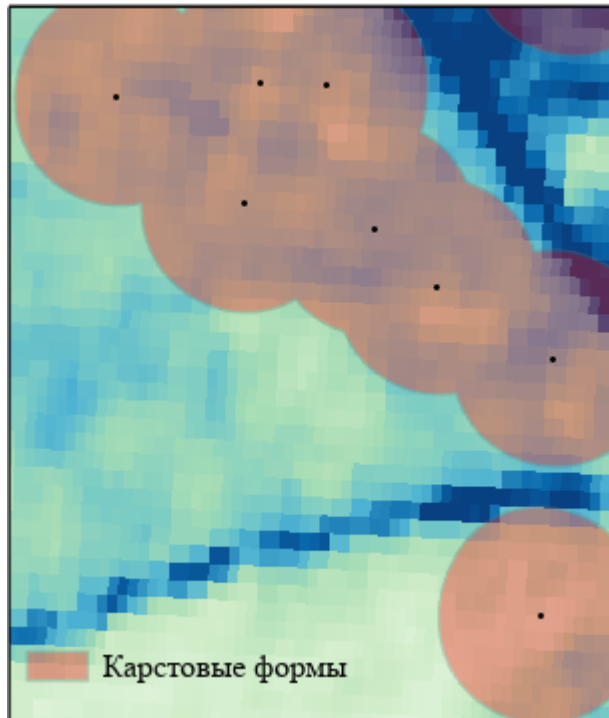
# Показатель закарстованности

*Плотность карстовых форм – количество карстовых форм на единицу площади*

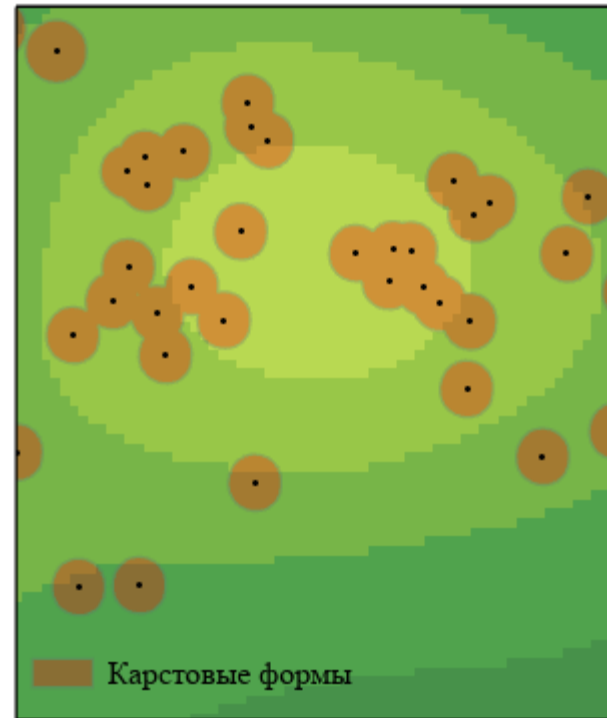


*Кривая распределения карстовых форм по удаленности от ближайшего соседа*

# Зональная статистика как способ минимизации ошибок

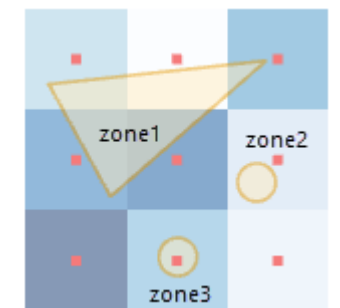


*Определение среднего спектрального индекса в пределах формы*



*Определение среднего значения плотности карстовых форм как показателя закарстованности в пределах формы*

*Принципиальная схема работы инструмента*

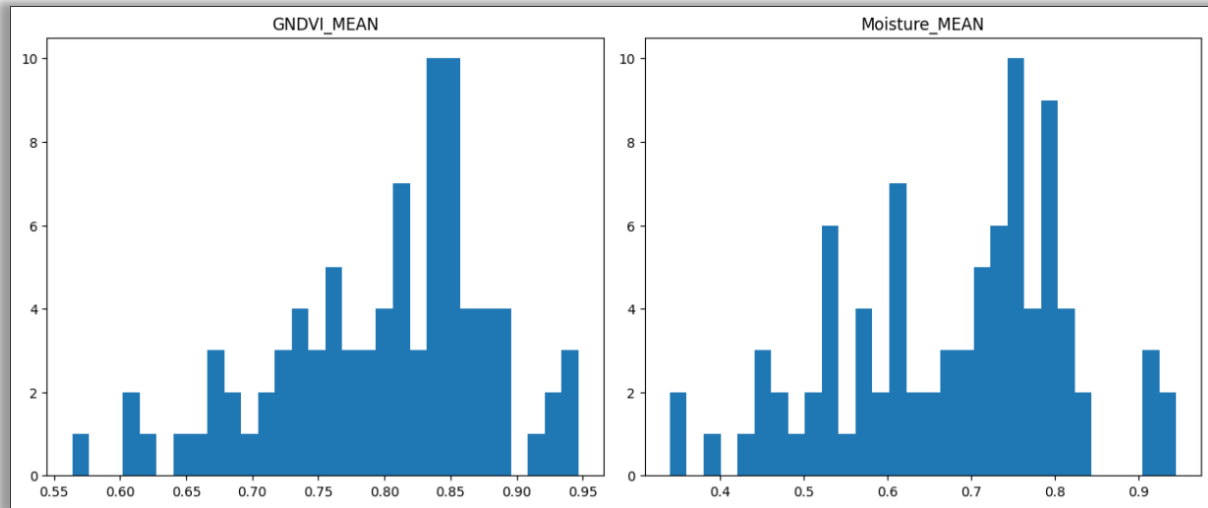


- Входной объект
- Входной растр значений

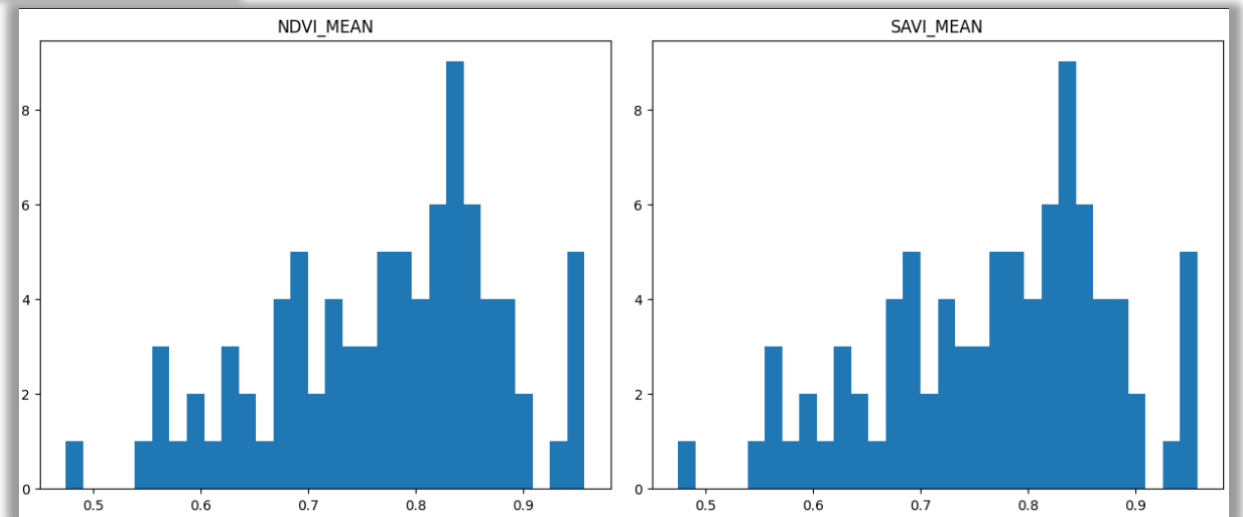
©<https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-zonal-statistics-works.htm>

# Расчет спектральных индексов

NDVI, GNDVI, SAVI и Moisture Index



*Гистограммы распределения значений анализируемых индексов в районе развития карстовых форм*

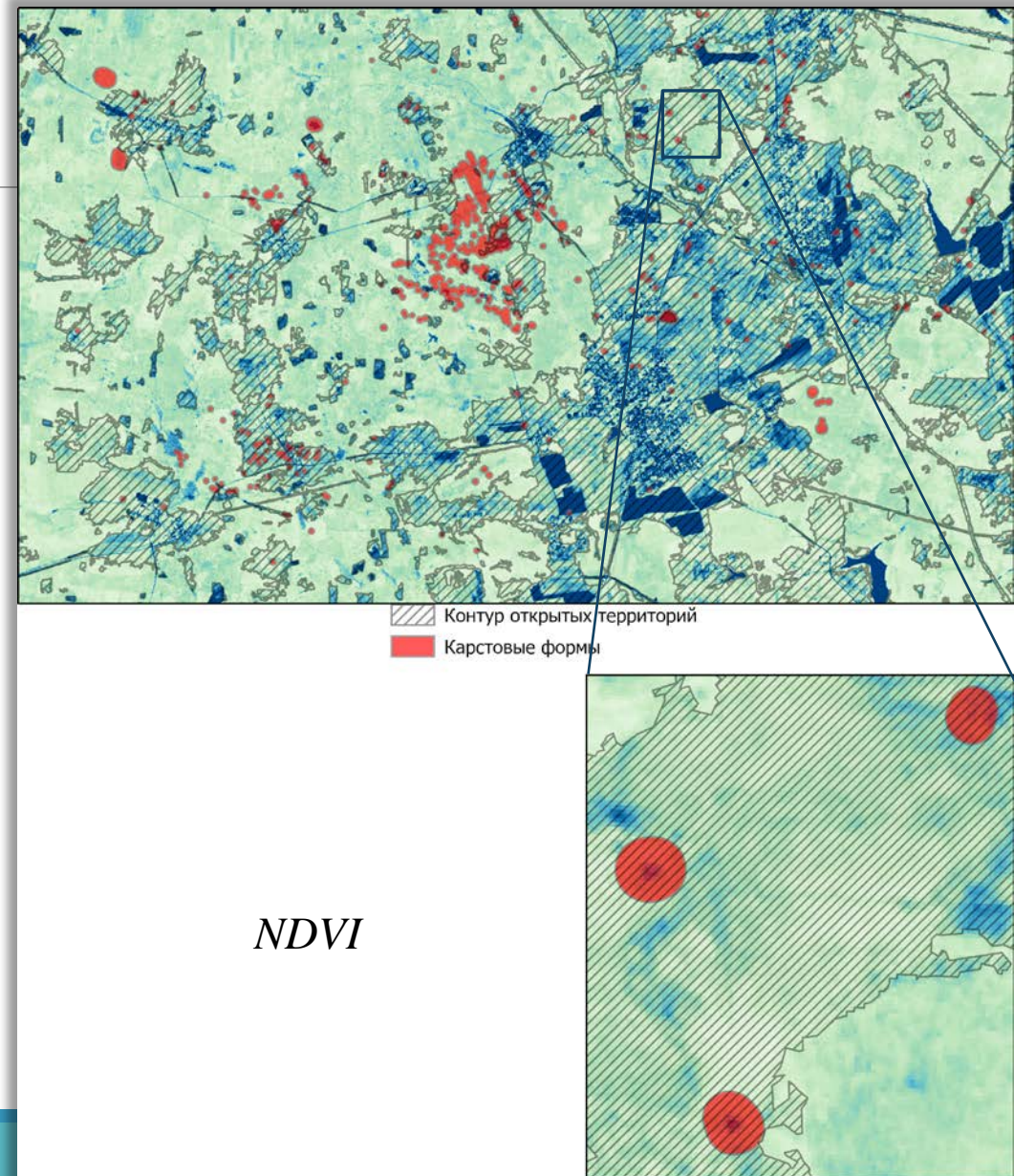
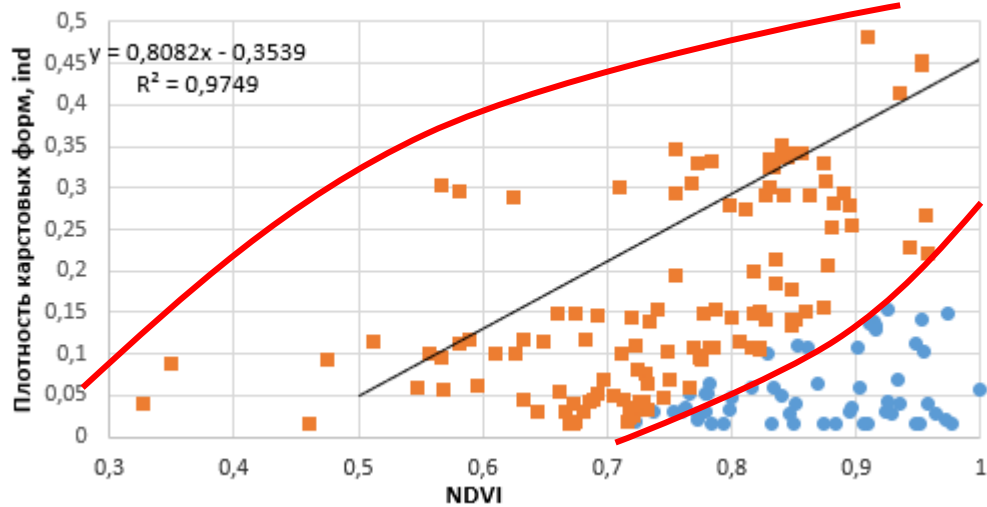




# Расчет спектральных индексов

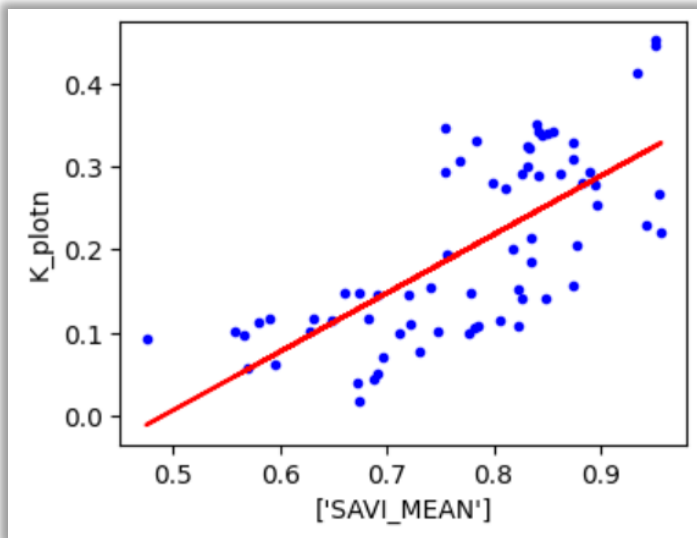
NDVI, GNDVI, SAVI и Moisture Index

*Принципиальная схема сведения зависимости показателя закарстованности от индекса к линейной*



Линейная множественная регрессия - в этом случае в модели  $X$  не один, а несколько ( $m$ ):

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots + a_m X_m + \varepsilon$$



```
X_cols = ["GNDVI_MEAN", "Moisture_MEAN", "NDVI_MEAN", "SAVI_MEAN"]

# снова поделим выборку на обучающую и тестовую
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    df[X_cols], df[y_col], test_size=0.2, random_state=17
)

# снова построим модель
model = LinearRegression()
model.fit(X=X_train, y=y_train)
print(f"Коэффициенты модели: {model.coef_}, свободный член: {model.intercept_}")
```

Коэффициенты модели: [ 5.90135314e-01 2.97322437e-01 -6.31627157e+02 6.31522351e+02], свободный член: **-0.3989130946277647**

# коэффициент детерминации модели  $R^2 = 0,7$

# Итоговая прогнозная карта открытых территорий

*Карта, позволяющая зонировать территорию по степени карстовой опасности по изменению прогнозных значений выбранного параметра, характеризующего поверхностную закарстованность (плотность карстовых форм)*

## РЕЗУЛЬТАТ

намечены потенциальные участки распространения карстовых форм



# Выводы

---

Поведено разделение территории по типам растительного покрова: участки лесной и луговой растительности посредством контролируемой классификации (алгоритм CART)

Проведено предварительное зонирование территории Пивоваровского карстового участка по степени карстовой опасности с использованием набора вегетационных индексов в модели множественной регрессии с целью

Апробировано применением метода множественной регрессии в отношении поиска потенциально опасных закарстованных территорий

Повышение точности прогнозной карты возможно посредством включения дополнительных факторов, в том числе категориальных признаков, в модель множественной регрессии

# Спасибо за внимание!

Дробинина Елена Викторовна

Телефон: +7 (909) 727 24 63

Email: [alenadrobinina@yandex.ru](mailto:alenadrobinina@yandex.ru)

[https://t.me/alena\\_drobinina](https://t.me/alena_drobinina)

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда  
№ 24-27-00350, <https://rscf.ru/project/24-27-00350/>.