

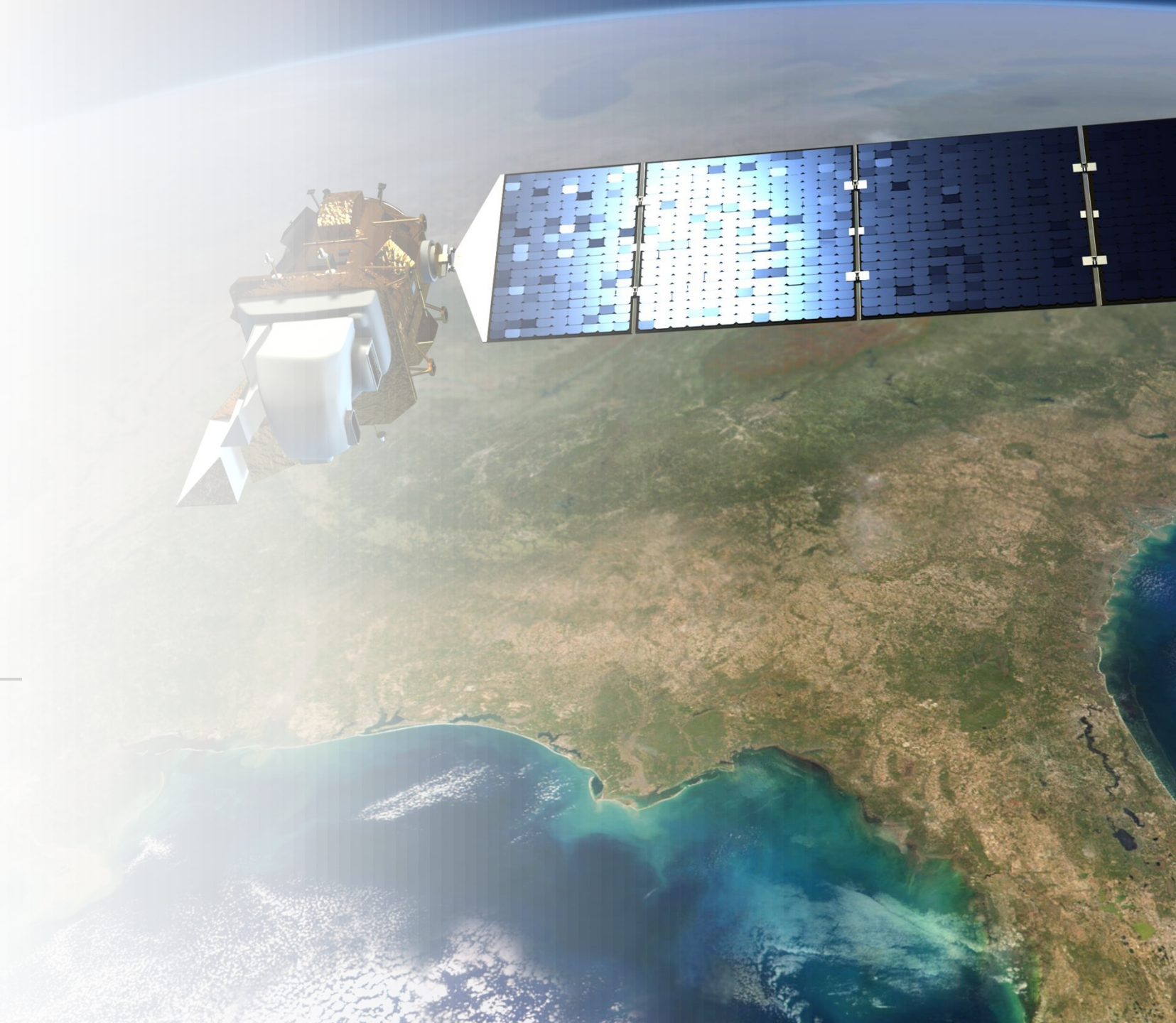


Научное направление:

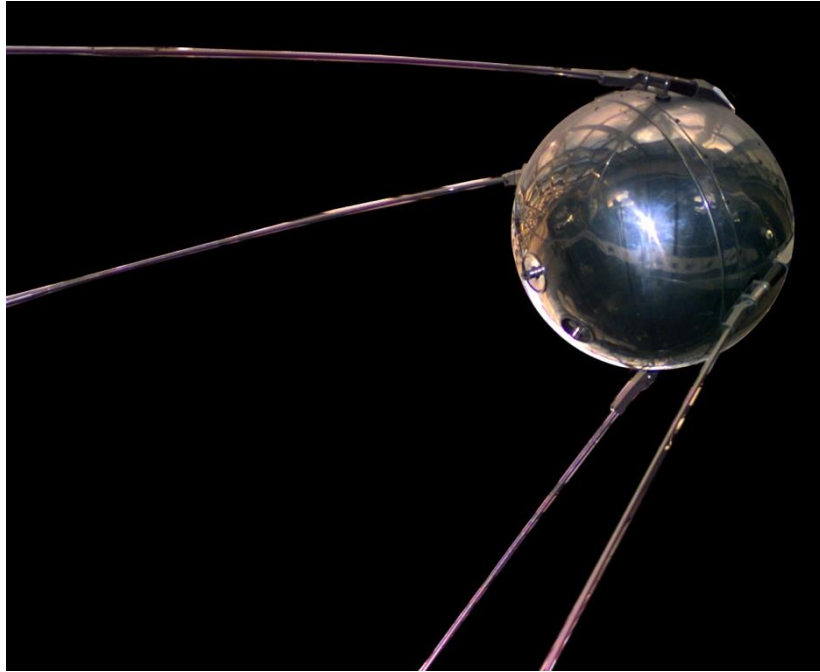
«Исследование  
экологического состояния  
земель по материалам  
дистанционного  
зондирования Земли из  
космоса»

---

к.б.н., доцент Евдокимова М.В.



# Начало космической эры человечества

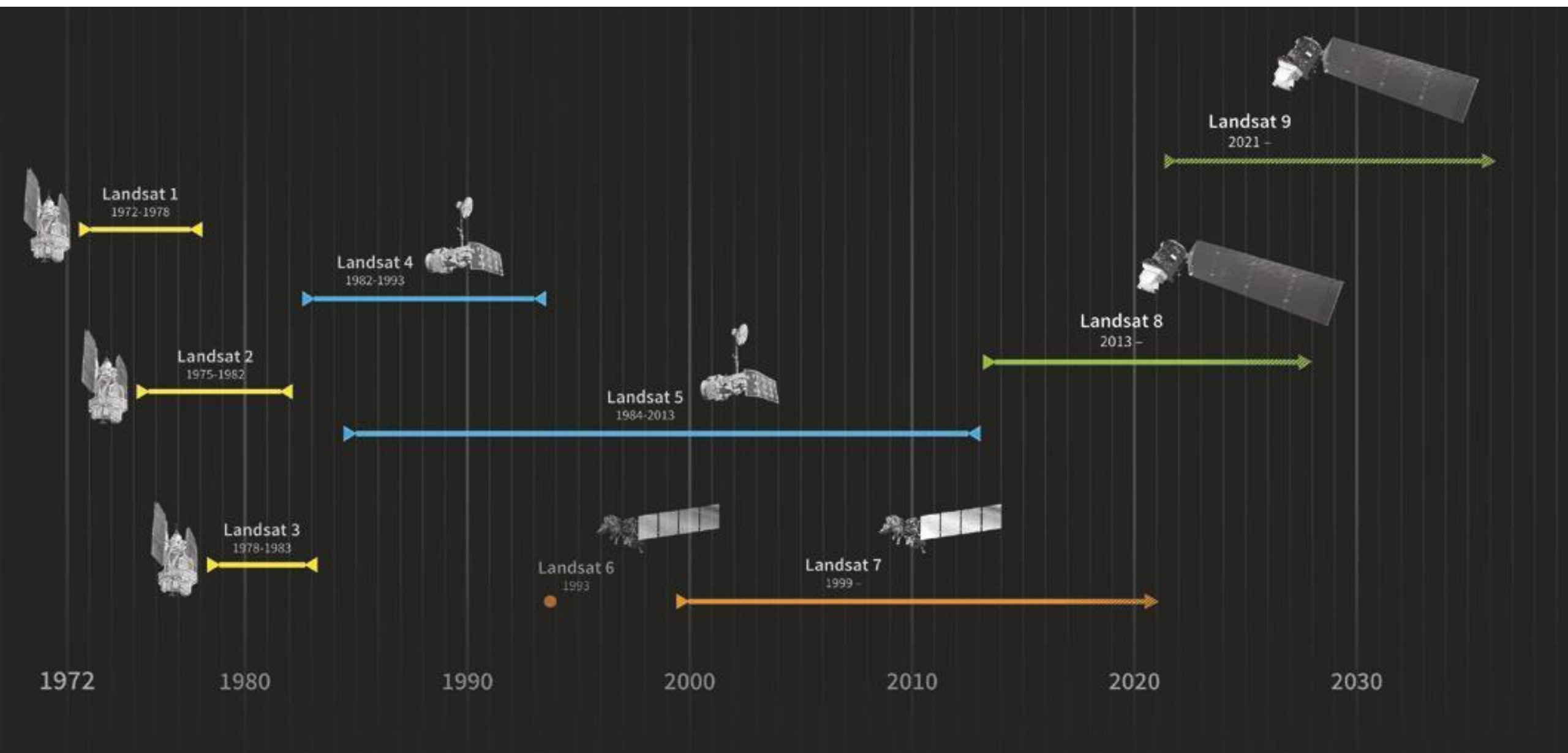


«Спутник-1» - первый в мире искусственный спутник Земли, советский космический аппарат, запущенный на орбиту 4 октября 1957 года

Главными задачами, стоявшими перед этим спутником, были:

- проверка расчетов и технических решений, принятых для запуска;
- ионосферные исследования прохождения радиоволн, излучаемых передатчиками спутника;
- экспериментальное определение плотности верхних слоев атмосферы по торможению спутника;
- исследование условий работы аппаратуры в космической среде.

- Фрагменты видео Роскосмос ТВ:  
[https://youtu.be/JuzWlkL1ZXI?si=AUmd1V92\\_pi-1Rb4](https://youtu.be/JuzWlkL1ZXI?si=AUmd1V92_pi-1Rb4)









%smisvector\_info%

Долгота: 146.2263° Широта: 44.3796°

Россия

Дальневосточный федеральный округ

[Сахалинская область](#)

[Южно-Курильский район](#)

[Снимки с МКС](#)



[Динамика растительности в этой точке](#)

[Сегментация в точке](#)

**Информация в точке по OLI-TIRS (Landsat 8):**

Канал 2 (450-510 nm, 30 m): 0.093 КСЯ

Канал 3 (530-590 nm, 30 m): 0.075 КСЯ

Канал 4 (640-670 nm, 30 m): 0.070 КСЯ

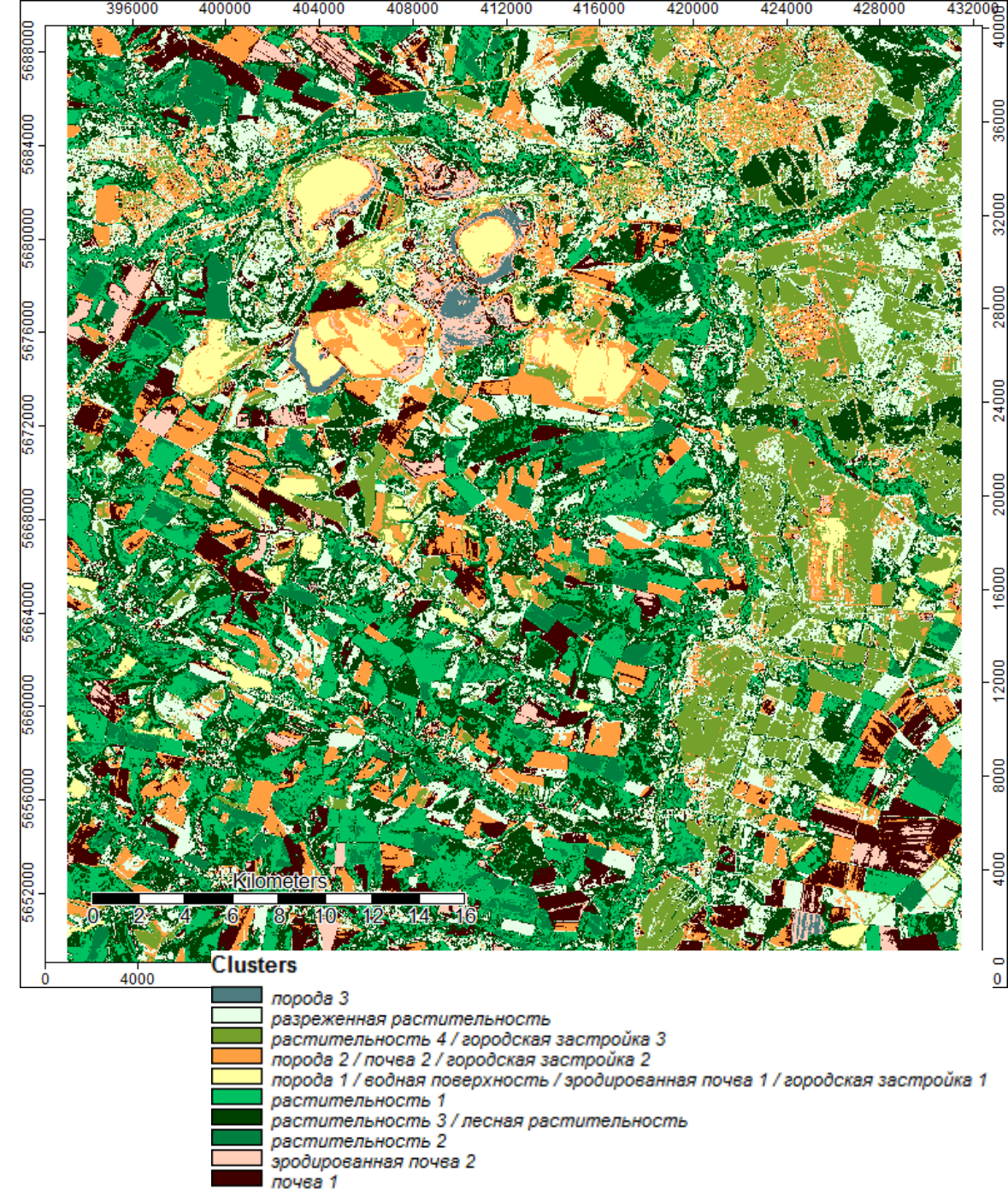
**Информация в точке по TROPOMI (SENTINEL-5P):**

Аэрозольный индекс: 1.750

Спецкурс  
«Геоинформационное  
сопровождение оценки  
земельных ресурсов»



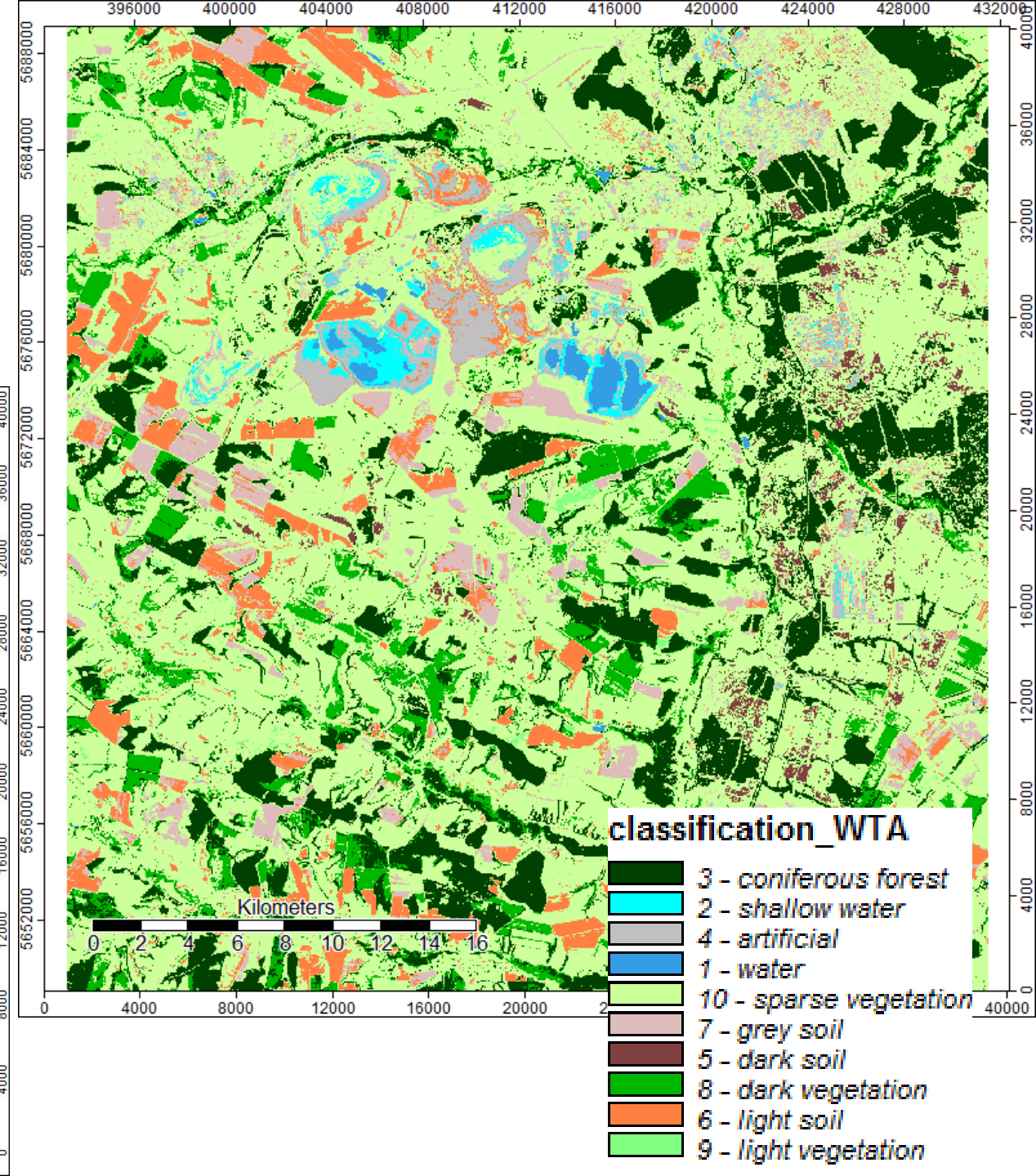
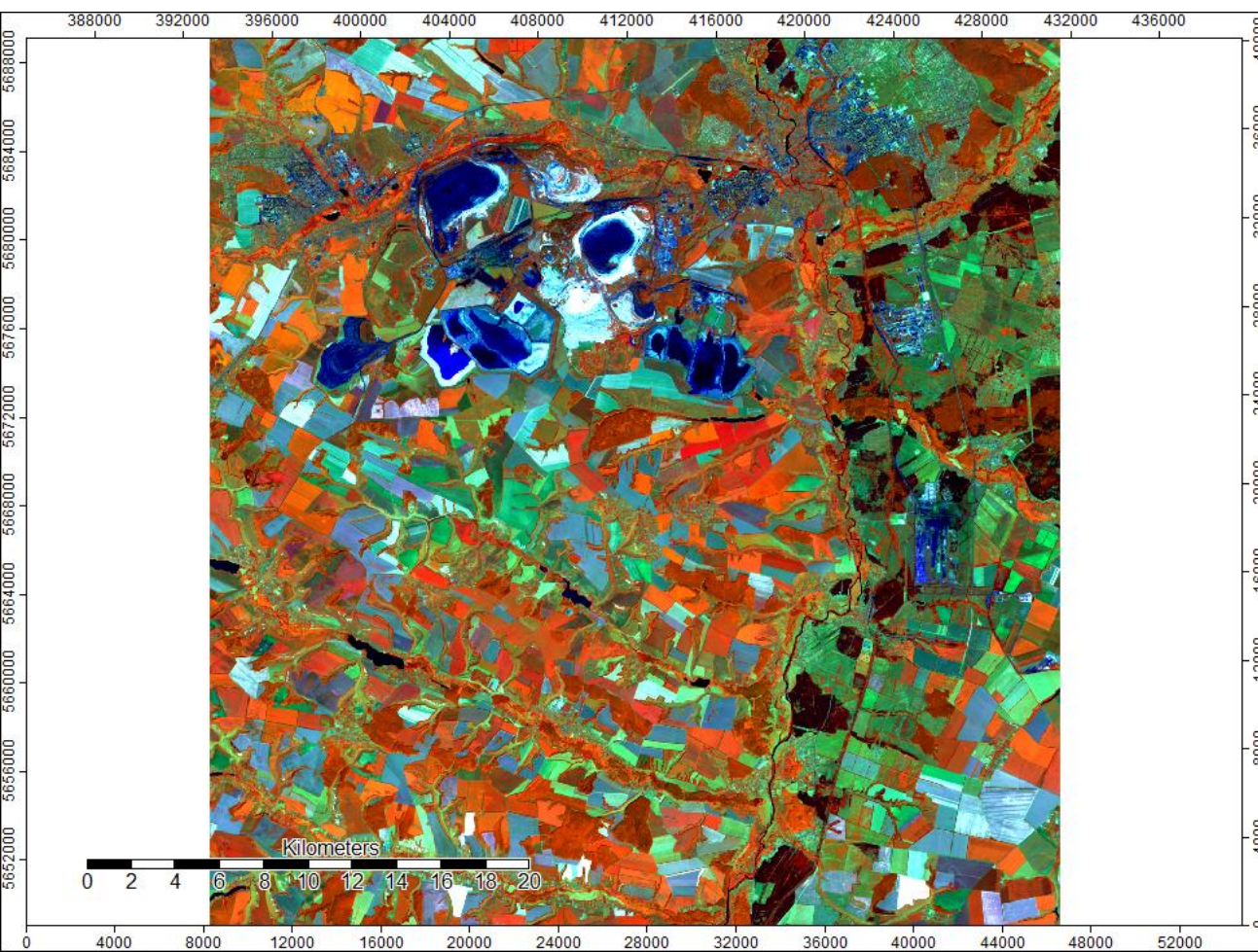
# Классификация типов земных покровов



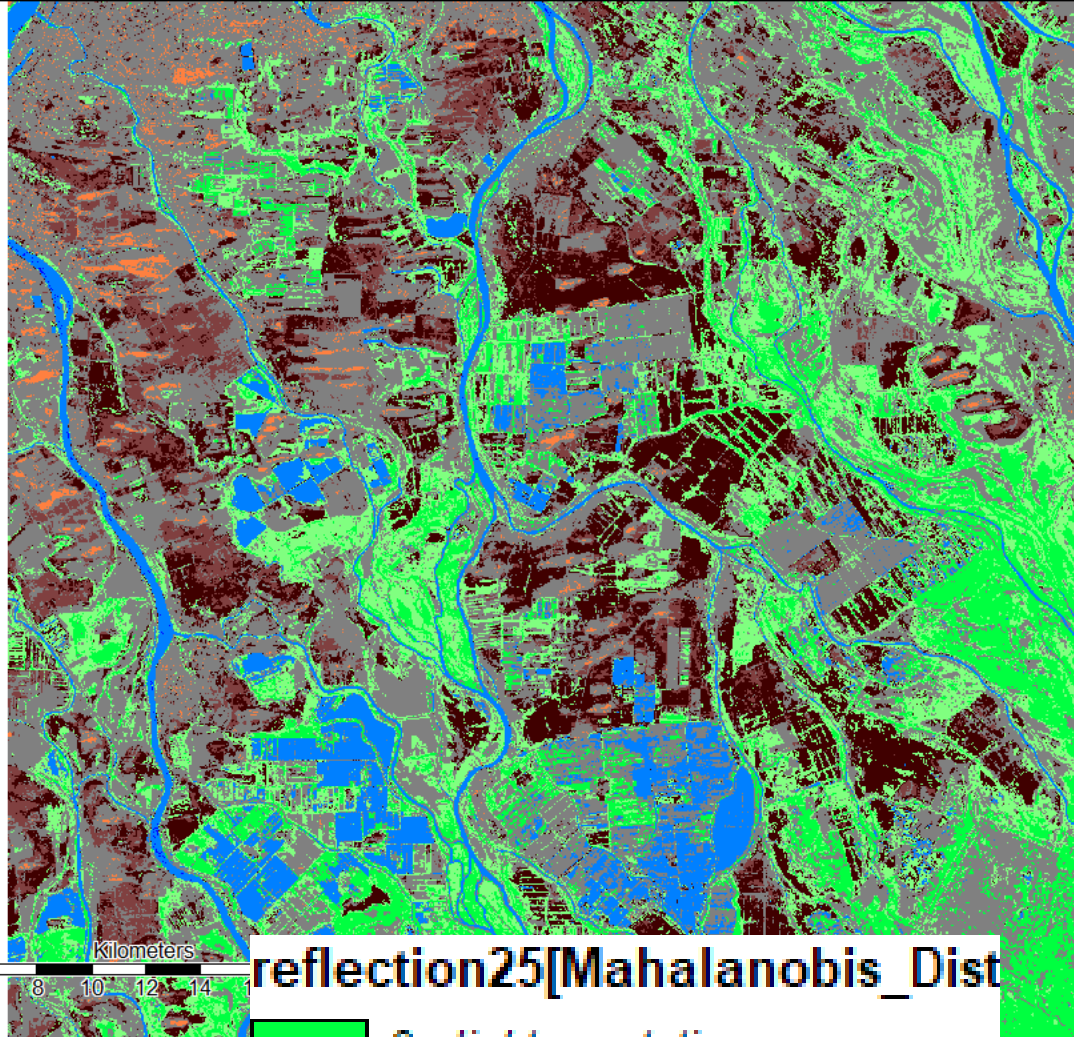


Классификация -->  
 позволяет четко  
 различить границу  
 между водой и сушей

## Комбинация каналов Landsat 8 #5,6,4







-  9 - light vegetation
-  7 - grey soil
-  6 - light soil
-  4 - artificial
-  2 - shallow water
-  11 - sand
-  10 - sparse vegetation
-  1 - water

## Дельта Волги

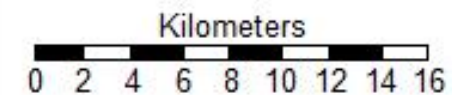
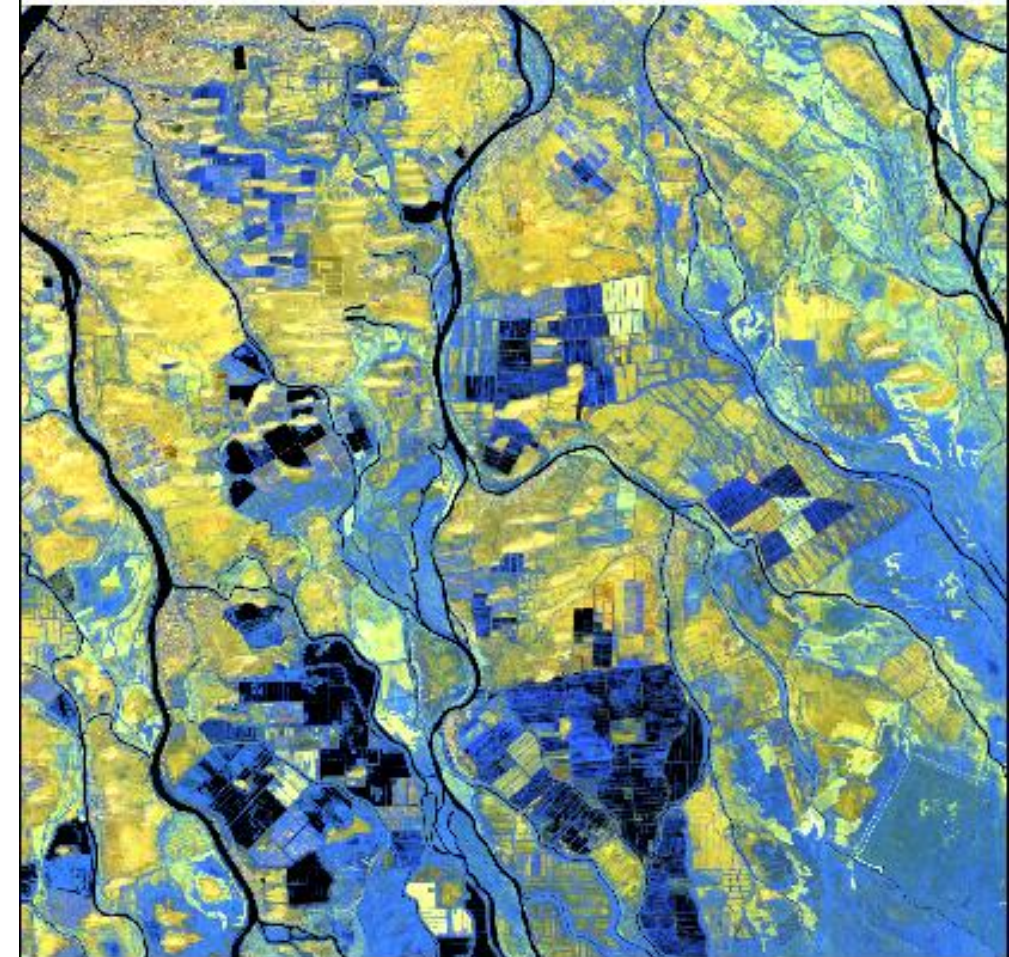


Kilometers  
0 2 4 6 8 10 12 14 16



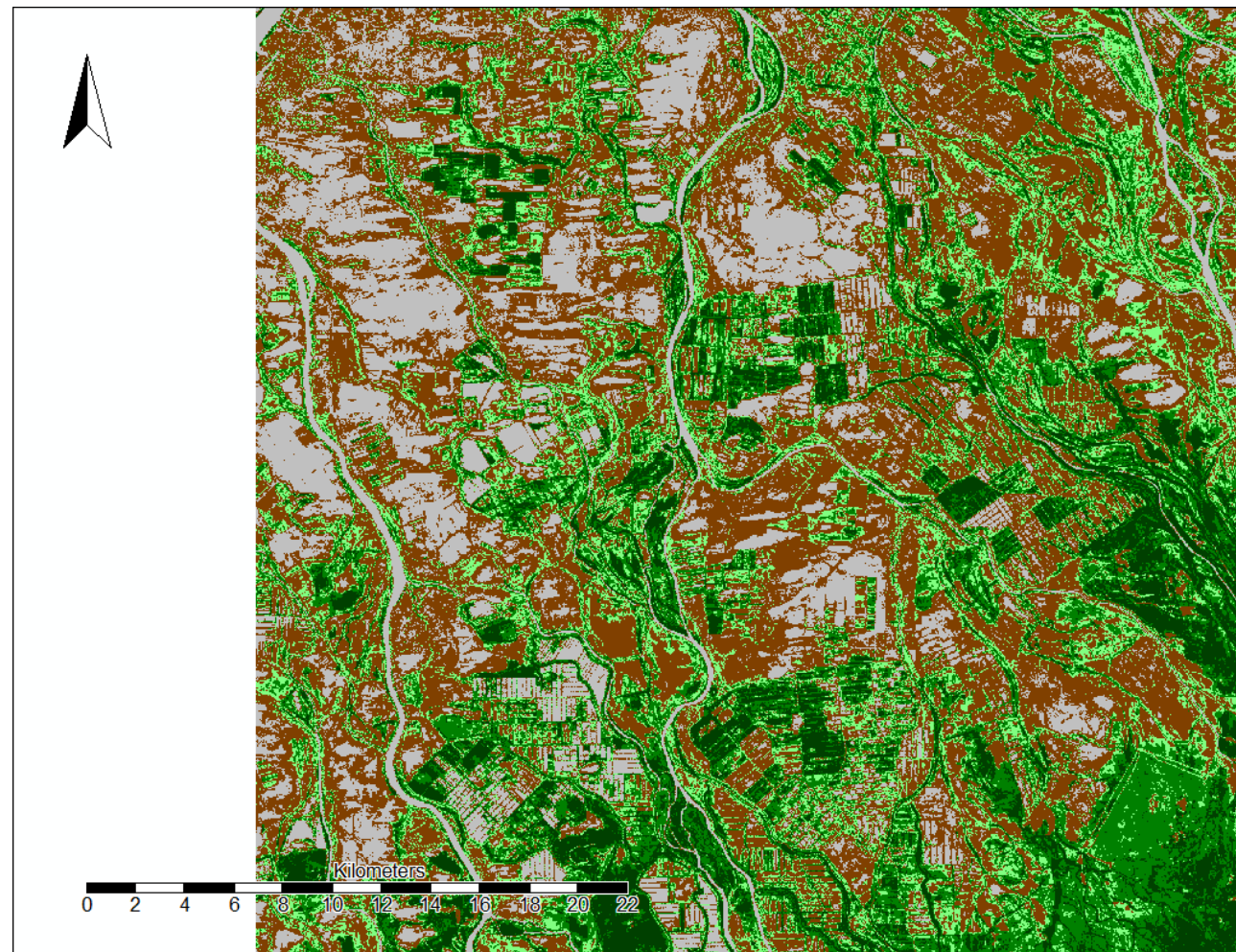
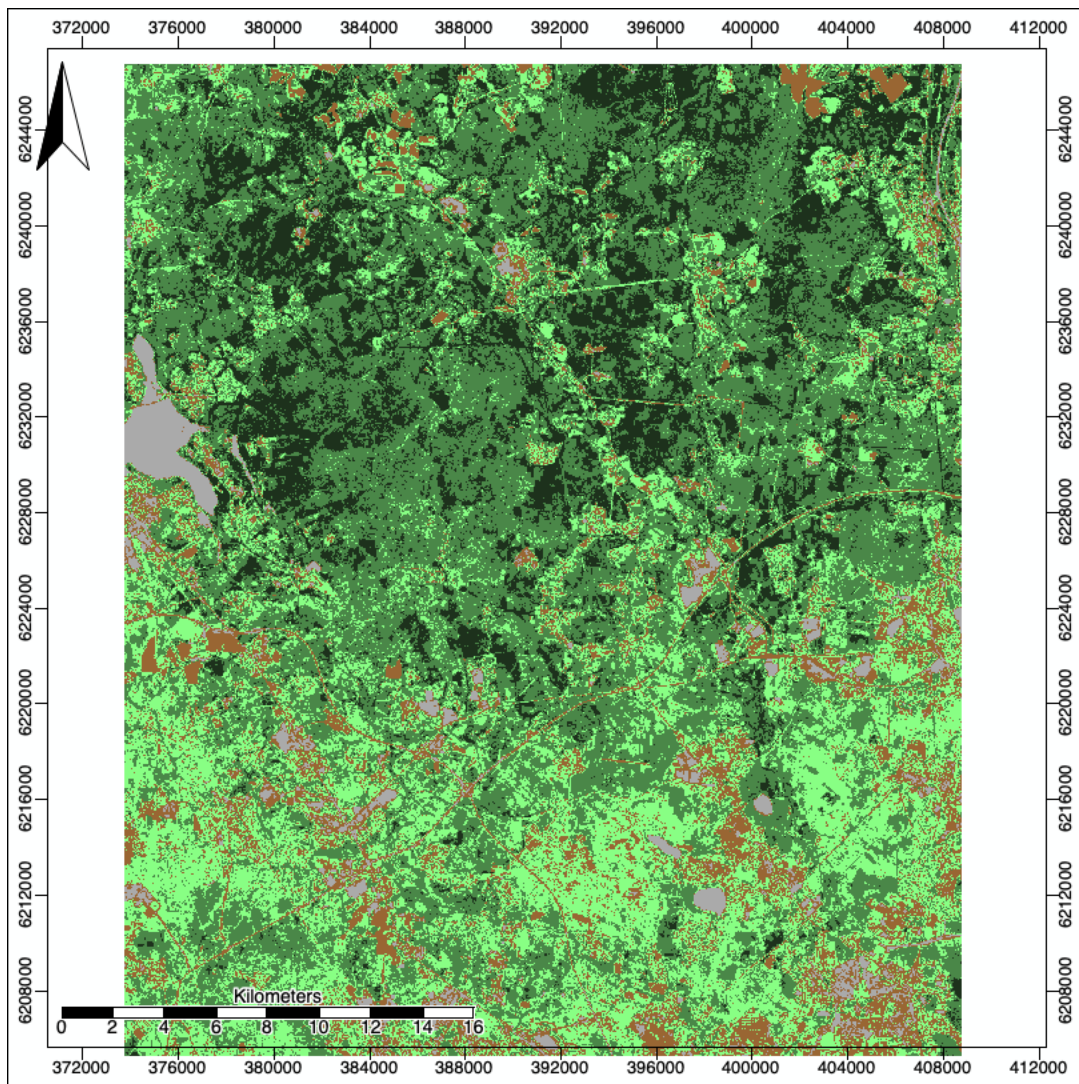


Винсент Ван Гог – Звёздная ночь

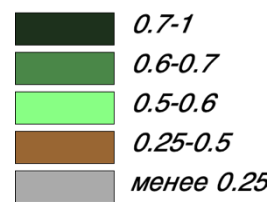




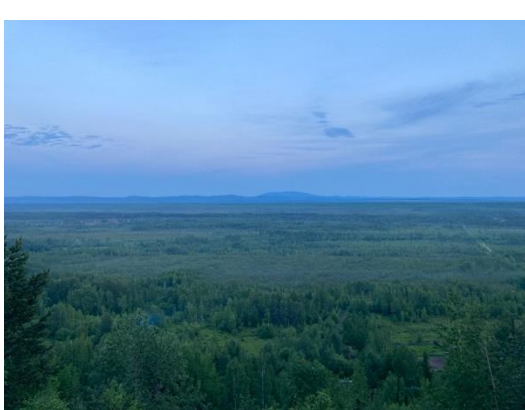
# Примеры растров NDVI



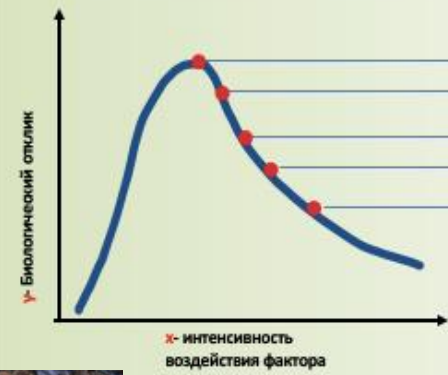
## NDVI



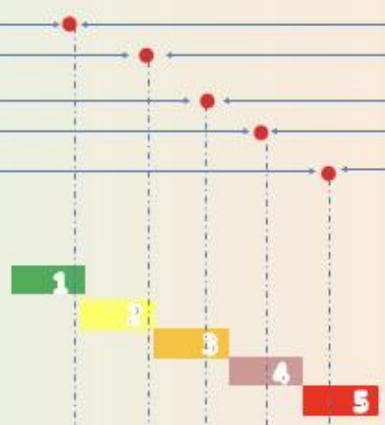




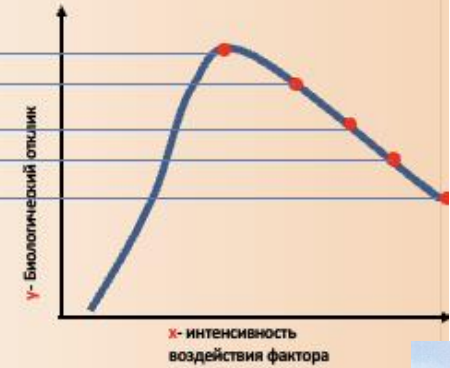
Оценка состояния  
компонентов среды



Ранжированная  
шкала оценки



Оценка воздействия  
на среду



СУМЗ



ГМК «Печенганикель»



ГМК «Норильский никель»



MSI\_BOA (SENTINEL-2B)



товые  
льтированные



Белогорье — охраняемая территория с уникальной фауной и флорой.





# Как оценивают влияние объекта негативного воздействия на окружающую среду?

1. Определяют степень загрязнения почв (подспутниковые измерения)

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почвах пробных площадок

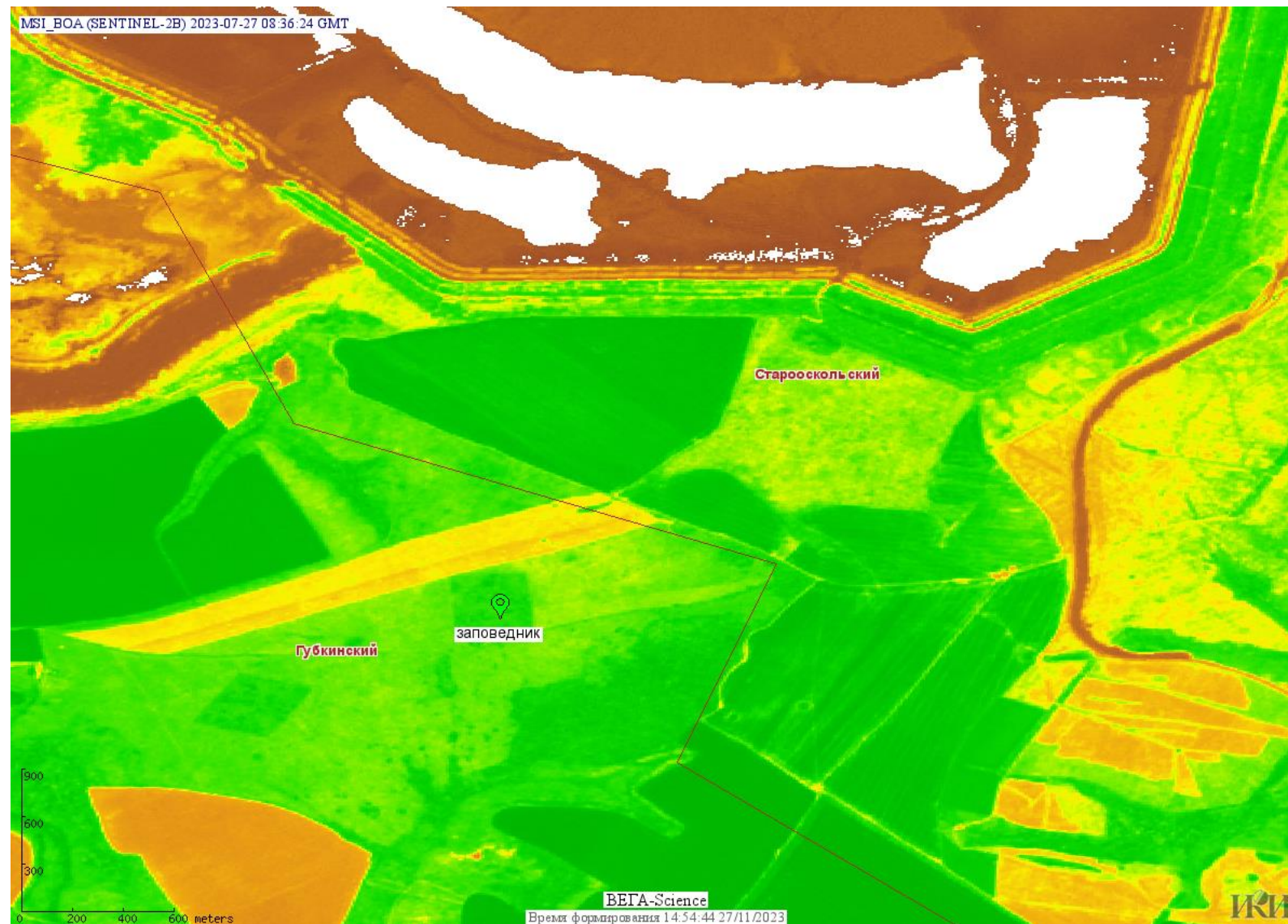
| № ПП     | As   | Ba    | Cd   | Co   | Cr    | Cu   | Mo  | Ni   | Pb   | Sr    | V     | Zn   | z*   |
|----------|------|-------|------|------|-------|------|-----|------|------|-------|-------|------|------|
| 1**      | 5,3  | 136,0 | 0,2  | 7,0  | 45,0  | 15,8 | 0,4 | 22,5 | 11,8 | 50,5  | 45,7  | 39,9 | 11,7 |
| 2**      | 6,3  | 144,1 | 0,2  | 7,4  | 46,6  | 17,1 | 0,5 | 23,3 | 11,0 | 51,5  | 48,1  | 43,7 | 12,5 |
| 3        | 6,0  | 142,0 | 0,1  | 8,5  | 53,0  | 15,4 | 0,6 | 24,3 | 9,7  | 63,0  | 56,0  | 44,3 | 12,6 |
| 4        | 5,1  | 142,1 | 0,2  | 7,6  | 46,0  | 17,4 | 0,4 | 23,3 | 10,5 | 58,8  | 47,6  | 39,8 | 12,0 |
| 5        | 4,9  | 98,1  | 0,1  | 6,2  | 44,9  | 12,0 | 0,3 | 18,7 | 8,9  | 45,9  | 44,3  | 30,6 | 9,8  |
| 6        | 5,0  | 135,9 | 0,1  | 7,3  | 46,5  | 15,3 | 0,5 | 22,3 | 9,8  | 47,9  | 49,1  | 39,3 | 11,3 |
| 7        | 6,7  | 136,3 | 0,2  | 8,2  | 48,6  | 18,0 | 0,5 | 26,2 | 10,2 | 55,0  | 51,8  | 44,7 | 12,9 |
| 8**      | 5,9  | 150,1 | 0,1  | 8,7  | 53,4  | 16,7 | 0,4 | 28,3 | 10,8 | 60,6  | 56,8  | 47,0 | 12,8 |
| 9        | 5,7  | 150,9 | 0,2  | 8,1  | 48,4  | 17,4 | 0,5 | 25,2 | 11,5 | 52,7  | 51,7  | 52,1 | 13,0 |
| 10       | 5,8  | 155,2 | 0,2  | 8,5  | 54,1  | 15,9 | 0,3 | 26,7 | 9,7  | 101,7 | 55,3  | 43,9 | 13,1 |
| 11       | 5,2  | 99,2  | 0,2  | 6,7  | 40,3  | 14,3 | 0,5 | 21,7 | 8,9  | 46,6  | 40,4  | 35,0 | 10,6 |
| 12       | 6,0  | 163,4 | 0,2  | 9,0  | 131,7 | 20,8 | 1,1 | 64,8 | 11,2 | 56,5  | 57,3  | 44,6 | 16,9 |
| 13       | 4,0  | 188,0 | 0,3  | 8,5  | 59,3  | 24,0 | 0,9 | 29,7 | 11,0 | 92,2  | 44,7  | 73,2 | 15,6 |
| 14       | 6,5  | 160,9 | 0,2  | 9,7  | 56,4  | 18,5 | 0,6 | 29,2 | 12,7 | 50,6  | 55,7  | 49,0 | 14,2 |
| 15       | 5,4  | 160,6 | 0,2  | 9,2  | 54,8  | 19,7 | 0,7 | 28,3 | 59,2 | 54,6  | 53,1  | 54,2 | 16,4 |
| 16       | 5,4  | 149,9 | 0,3  | 10,4 | 52,1  | 21,7 | 0,7 | 29,1 | 13,2 | 52,2  | 49,6  | 50,7 | 14,5 |
| 17       | 5,8  | 188,6 | 0,4  | 9,3  | 51,4  | 23,3 | 0,6 | 28,3 | 12,7 | 65,4  | 48,9  | 69,3 | 15,6 |
| 18       | 7,1  | 146,1 | 0,2  | 9,5  | 58,4  | 18,8 | 0,6 | 28,0 | 12,1 | 58,4  | 60,7  | 51,5 | 14,3 |
| Пыль *** | 5,2  | 360   | 0,11 | 11,0 | 110,0 | 20,0 | 0,9 | 59,0 | 12,0 | 110,0 | 52,0  | 53,0 | 11,7 |
| ПДК **** | 10,0 | –     | 2,0  | 4,0  | 6,0   | 3,0  | –   | 4,0  | 6,0  | –     | 150,0 | 23,0 | 9,5  |

Примечание. \* — средняя геометрическая концентрация, \*\* — Государственный природный заповедник «Белогорье», участок «Ямская Степь», \*\*\* — пыль из цехов ГОКа [Бакунович и др., 2016], \*\*\*\* — СанПиН 1.2.3685-21.

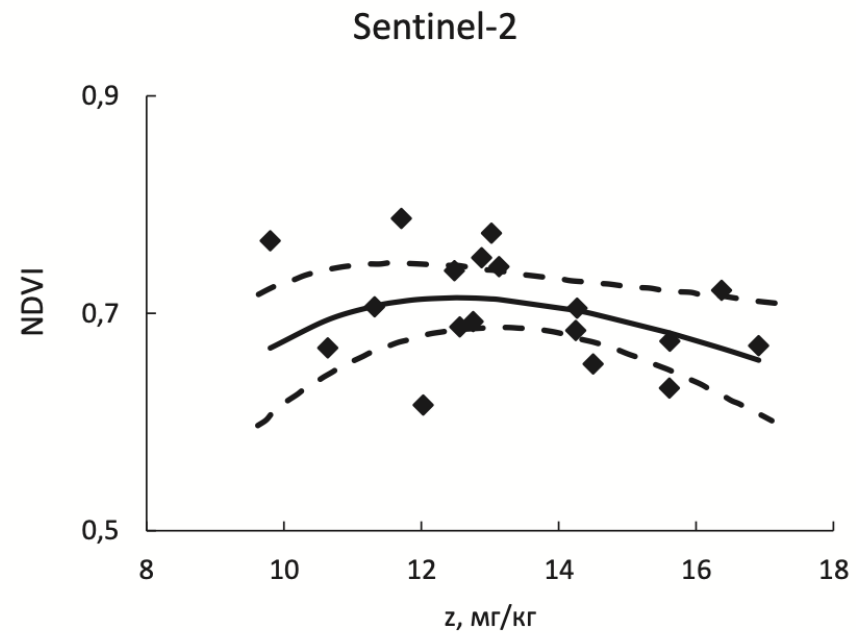
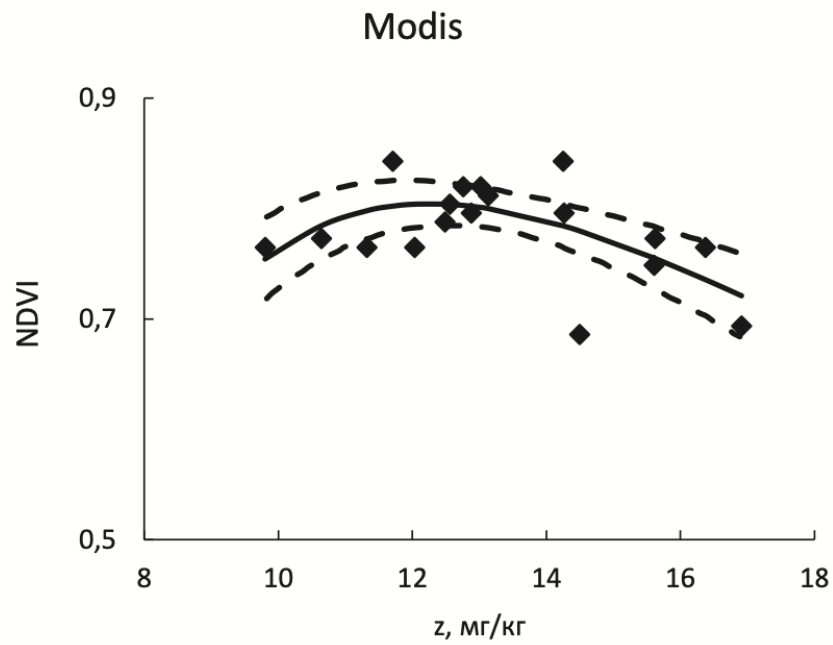


## 2. Используют данные дистанционного зондирования Земли из космоса

Карта вегетационного индекса NDVI







Зависимость отклика растений (NDVI) на концентрацию тяжелых металлов в почве (точки соответствуют пробным площадкам, сплошные линии — математической модели, пунктирные линии — доверительным интервалам для модели)



### 3. Для обработки больших данных привлекают математический аппарат – математическое моделирование и программирование

```
gendugov_model_fitting_code2.py - /Users/mariyaevdokimova/Desktop/gend...
import os, sys, inspect

import pyeq3

import numpy, scipy, matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt

functionString = 'A*X**(-B)*exp(-K/X)'

# note that the constructor is passed the
equation = pyeq3.Models_2D.UserDefinedFun

# copy and paste researcher data here:
data = '''
X      Y
16.1   0.70
14.4   0.71
13.8   0.71
14.6   0.75
11.1   0.52
13.5   0.57
15.5   0.78
13.7   0.74
16.3   0.66
15.5   0.66
17.1   0.69
17.7   0.62
'''

pyeq3.dataConverterService().ConvertAndSo
equation.Solve()

#####

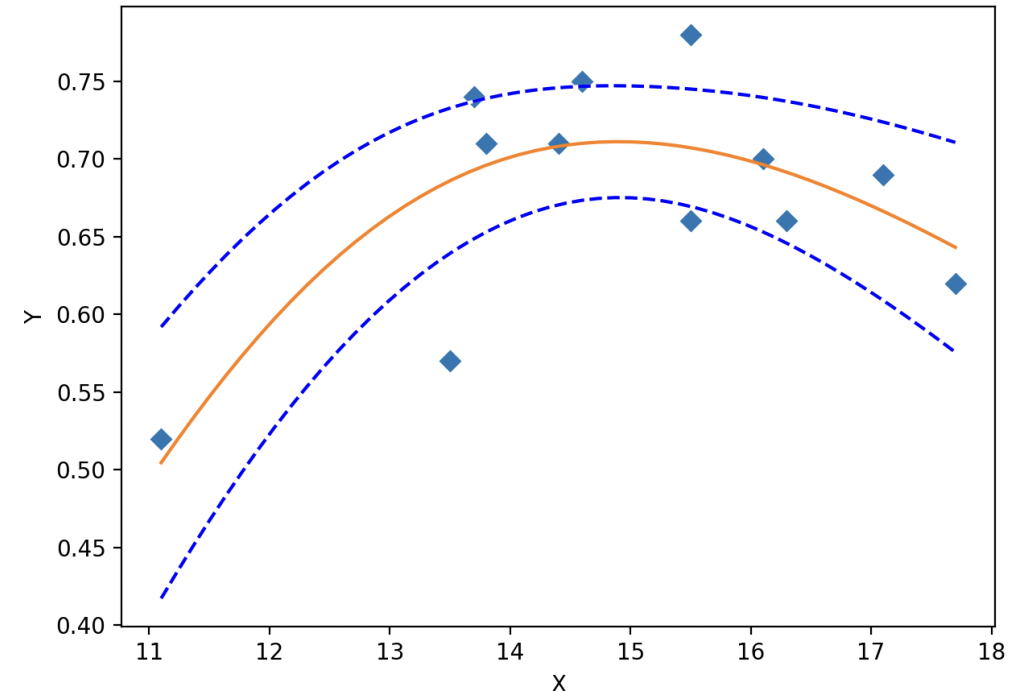
print("Equation:", equation.GetDisplayNam
print("Fitting target of", equation.fitti
print("Fitted Parameters:")

Y: 0.75
Model: 0.7100994880152811
Abs. Error: -0.03990051198471889
Rel. Error: -0.05320068264629185
Percent Error: -5.320068264629185
X: 15.5
Y: 0.78
Model: 0.7072260509168695
Abs. Error: -0.0727739490831305
Rel. Error: -0.09329993472196219
Percent Error: -9.329993472196218

Degrass of freedom error 9
Degrass of freedom regression 2
Root Mean Squared Error (RMSE): 0.04771841535133673
R-squared: 0.5641440555921484
R-squared adjusted: 0.4672871790570703
Model F-statistic: 5.8245121644805
Model F-statistic p-value: 0.023825574454146903
Model log-likelihood: 19.481992275860847
Model AIC: -2.7469987126434745
Model BIC: -2.6257720501964745

Individual Parameter Statistics:
Coefficient A = 2.3754136878549045E+11, std error: 5.42872E+24
t-stat: 1.01951E-01, p-stat: 9.21031E-01, 95 percent confidence interv
als: [-5.03320E+12, 5.50828E+12]
Coefficient B = 7.1689970596479204E+00, std error: 7.16373E+00
t-stat: 2.67848E+00, p-stat: 2.52688E-02, 95 percent confidence interv
als: [1.11430E+00, 1.32237E+01]
Coefficient K = 1.0680954657579660E+02, std error: 1.46567E+03
t-stat: 2.78992E+00, p-stat: 2.10566E-02, 95 percent confidence interv
als: [2.02049E+01, 1.93414E+02]

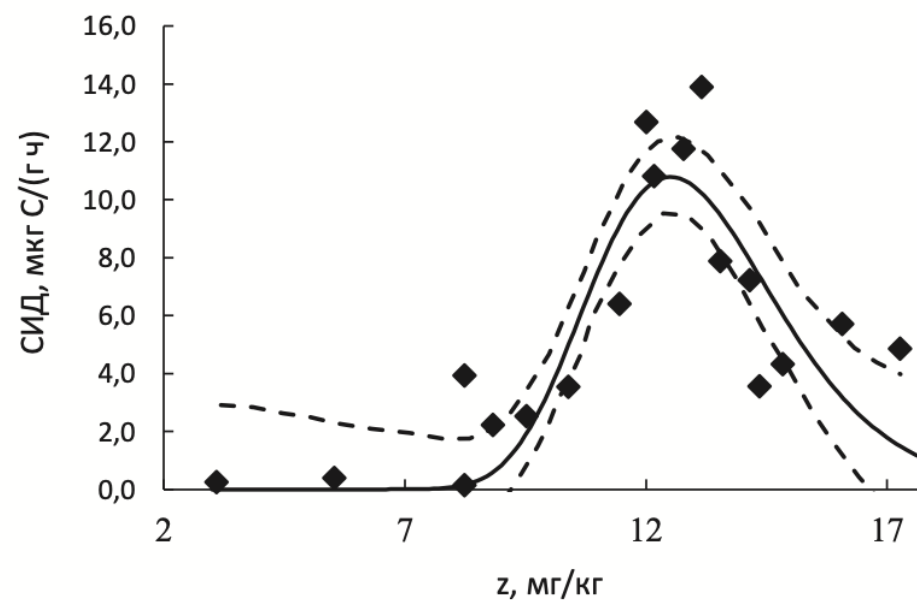
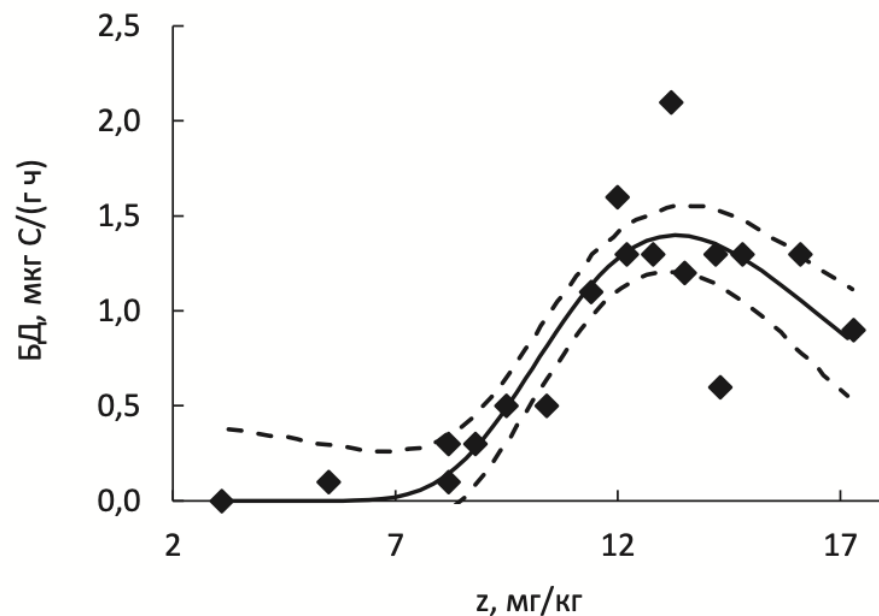
Coefficient Covariance Matrix:
[1.78807825e+27 2.05354865e+15 2.93259063e+16]
[2.05354865e+15 2.35954539e+03 3.36357477e+04]
[2.93259063e+16 3.36357477e+04 4.82754347e+05]
```



Спецкурс «Оценка компонентов окружающей среды»



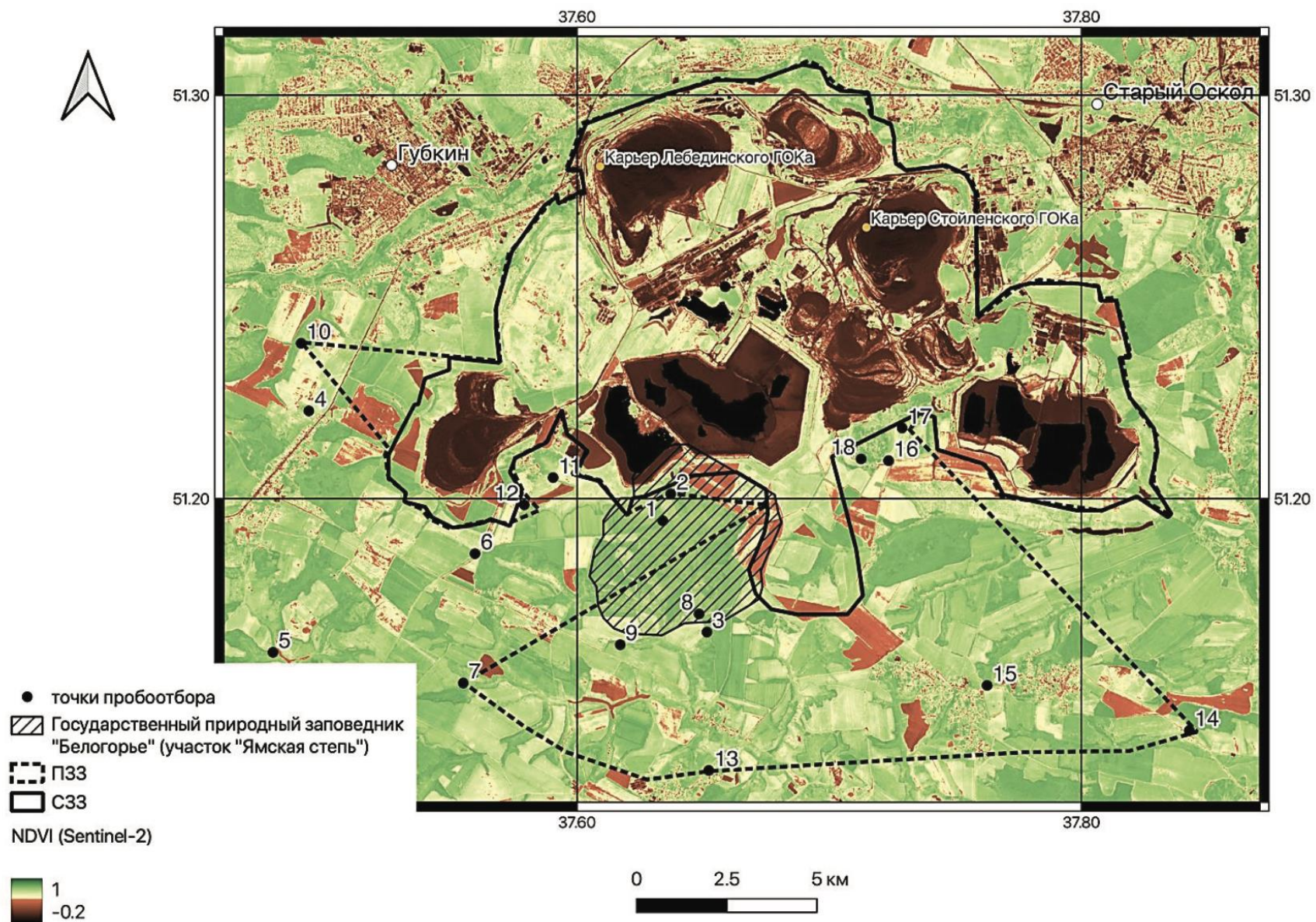
#### 4. Биодиагностику состояния почв проводят на основе откликов живого разного уровня организации



Зависимость изменения скоростей базального и субстрат-индуцированного дыхания от результирующей концентрации тяжелых металлов в почве



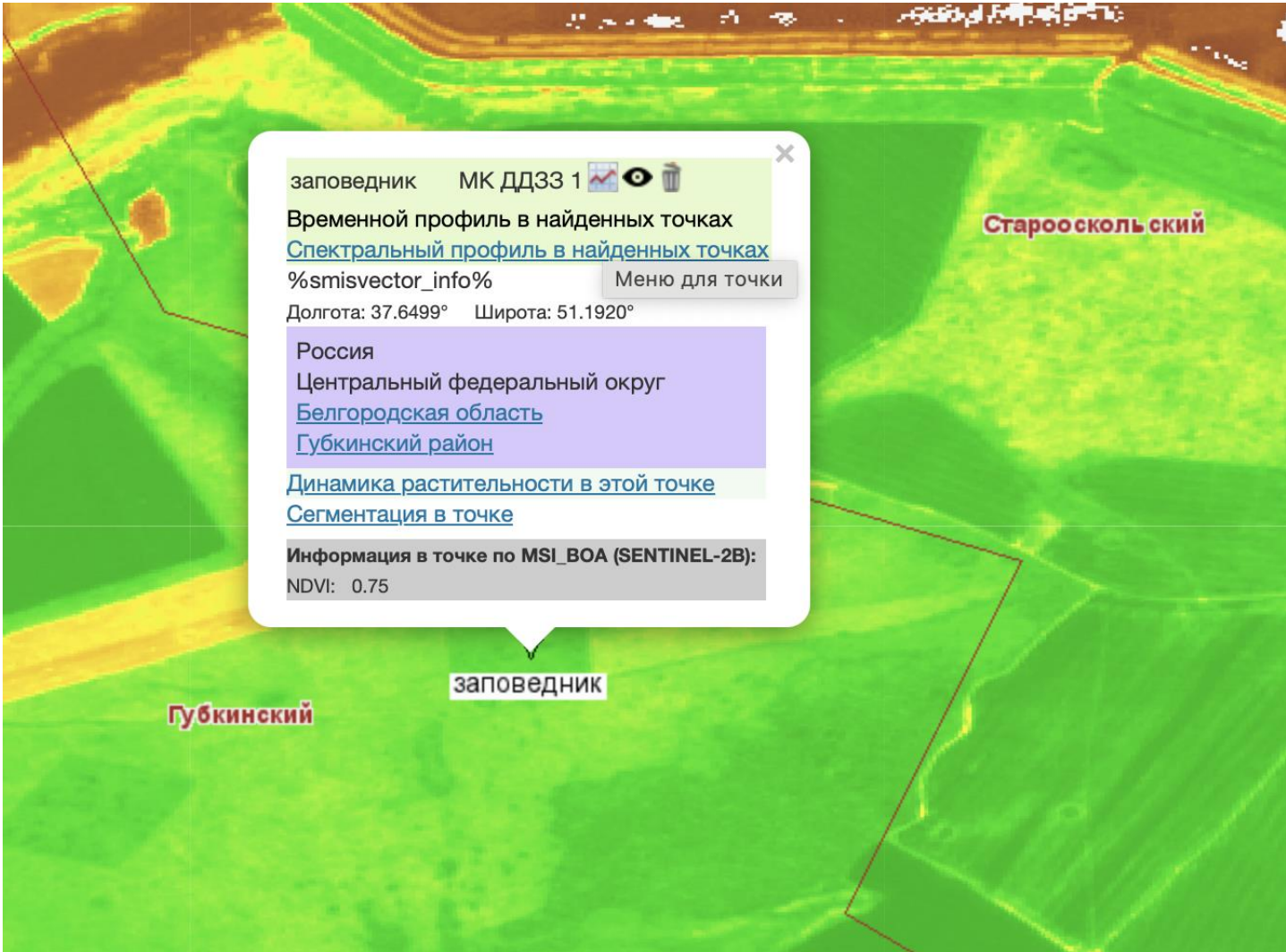
## 5. Проводят экологическое зонирование территории





# Попробуем получить ход роста степной растительности на территории некосимого участка «Ямской степи» для сезона 2023 года.

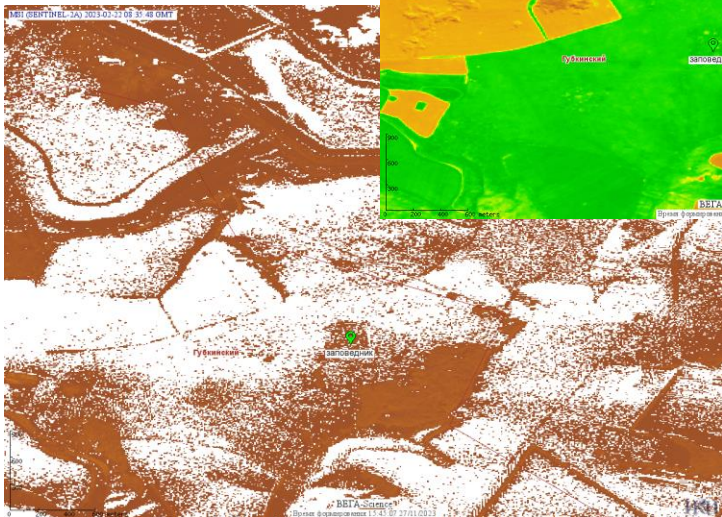
| заповедник (МК ДДЗЗ 1)  |       |
|-------------------------|-------|
| 7 дневный NDVI по MODIS |       |
| (интерполяция)          |       |
| номер недели в году     | 2023  |
| 10                      | 0,365 |
| 11                      | 0,365 |
| 15                      | 0,404 |
| 16                      | 0,514 |
| 17                      | 0,506 |
| 18                      | 0,678 |
| 19                      | 0,749 |
| 20                      | 0,796 |
| 21                      | 0,835 |
| 22                      | 0,828 |
| 23                      | 0,82  |
| 24                      | 0,796 |
| 25                      | 0,78  |
| 26                      | 0,773 |
| 27                      | 0,757 |
| 28                      | 0,757 |
| 30                      | 0,733 |
| 31                      | 0,71  |
| 32                      | 0,686 |
| 33                      | 0,749 |
| 34                      | 0,757 |
| 35                      | 0,749 |
| 36                      | 0,702 |
| 37                      | 0,663 |
| 38                      | 0,6   |
| 39                      | 0,577 |
| 40                      | 0,569 |
| 41                      | 0,545 |
| 42                      | 0,514 |
| 43                      | 0,475 |



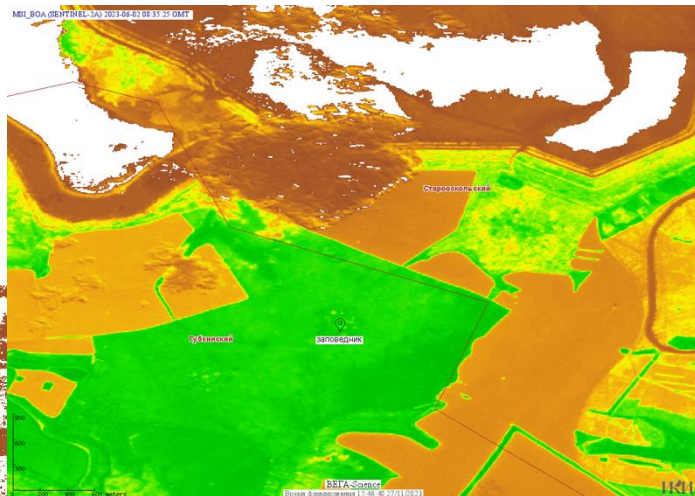


# Как выглядит изменение «зелености» растений на снимках Sentinel-2, сделанные в разные периоды времени?

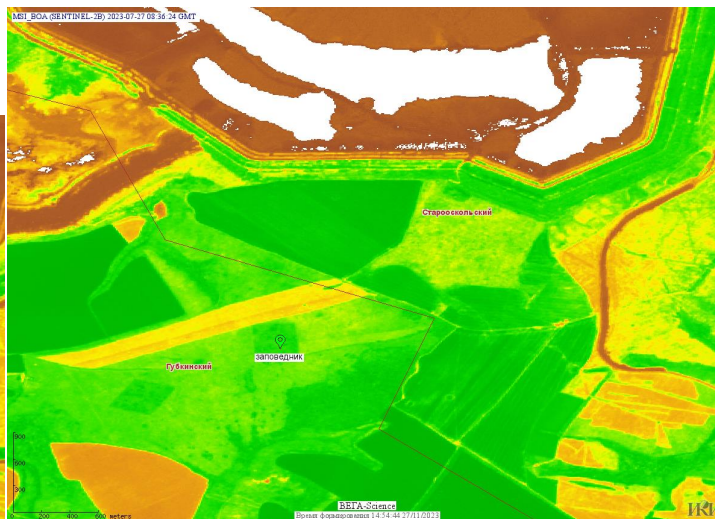
22.02.2023



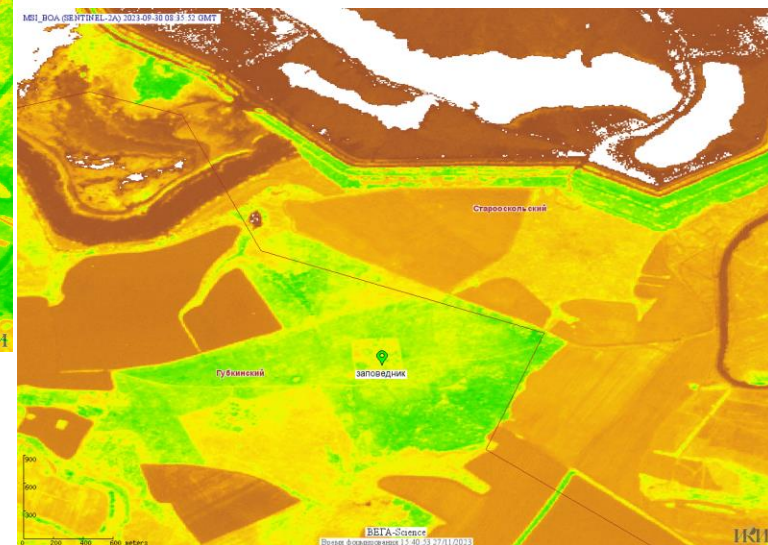
02.06.2023



27.07.2023

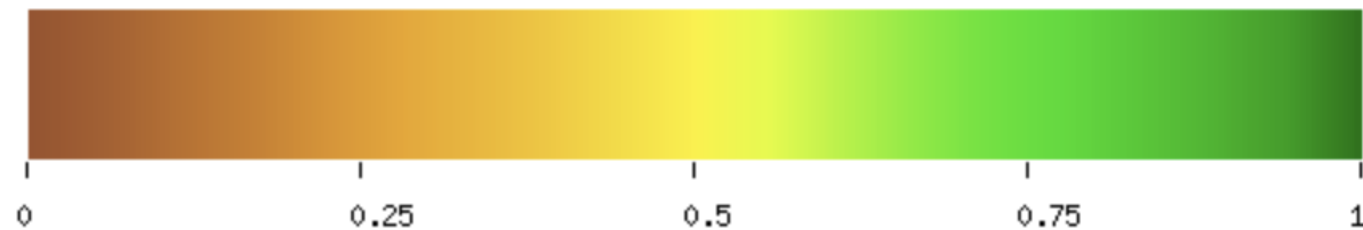


30.09.2023



Легенда к продукту «NDVI»

Легенда продукта "NDVI"



$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ ; Диапазон визуализации от 0 до 1





ГМК «Норильский никель»



Белгородский ГОК



ОАО «Горно-металлургический комбинат Печенганикель»



Среднеуральский медеплавильный завод в г. Ревда

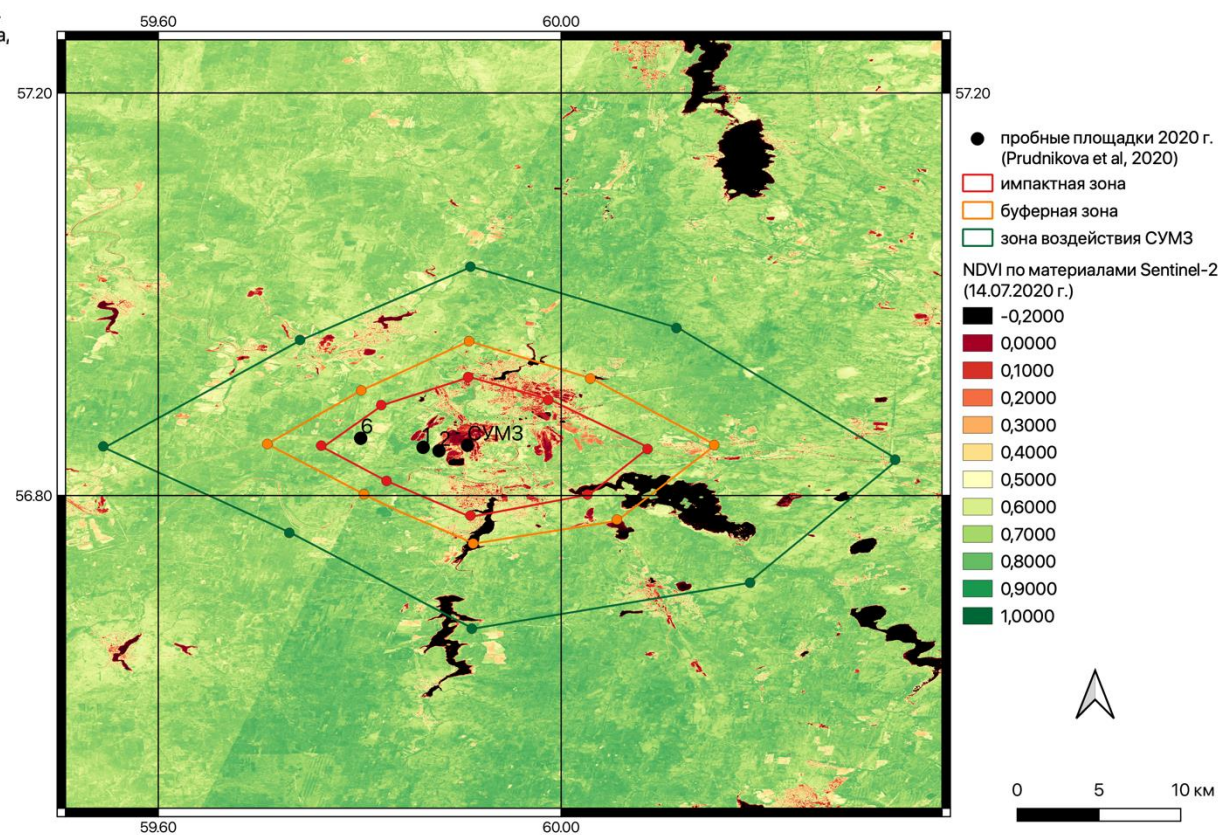
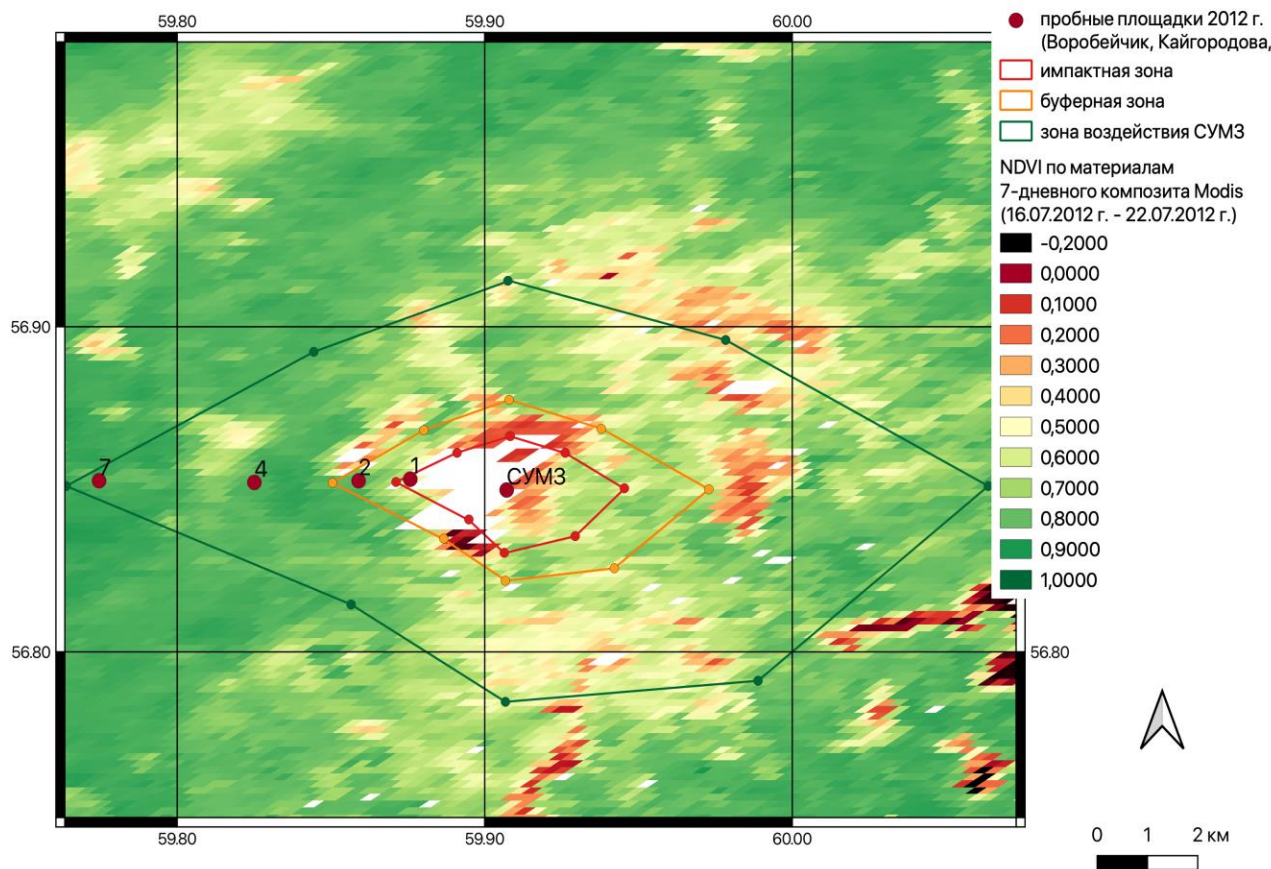
Воскресенские минеральные удобрения



# Картосхема устойчивости почв и растительного покрова к загрязнению комплексом поллютантов в зоне воздействия медеплавильного завода

2012 г.

2020 г.

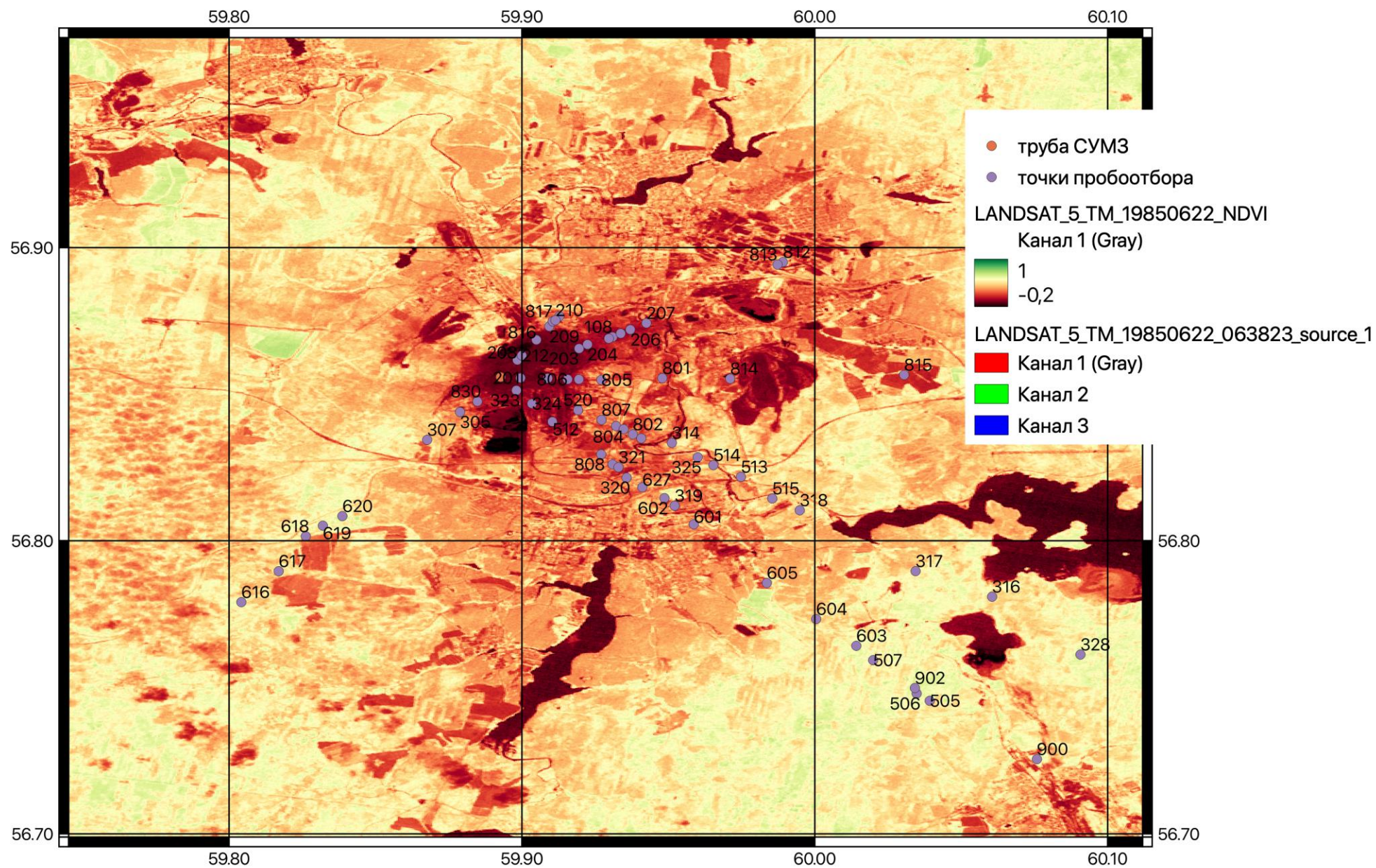


В западном и юго-восточном направлениях зона воздействия простирается на 8 км от СУМЗ, в северо-западном – на 6 км, в северном и северо-восточном – на 7 км. В восточном направлении зона воздействия наиболее продолжительна – её граница удалена на 10 км от завода.

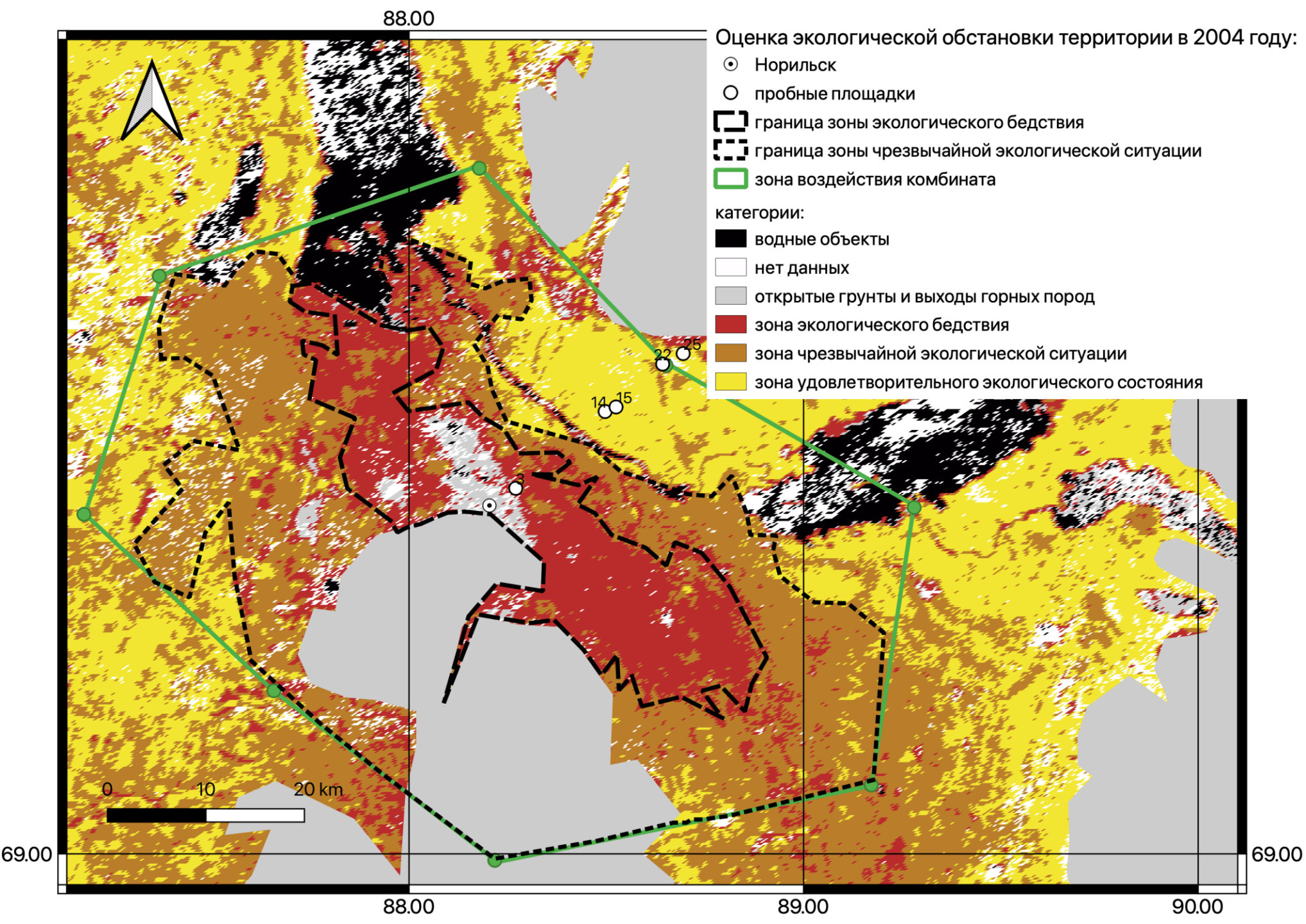
В западном и юго-восточном направлениях зона воздействия простирается на 22 км от СУМЗ, в северо-западном – на 16 км, в северном – на 20 км, в северо-восточном – на 18 км. В восточном направлении зона воздействия наиболее продолжительна – её граница удалена на 26 км от завода.



# Ретроспективная оценка с 1985 по 2020 г.



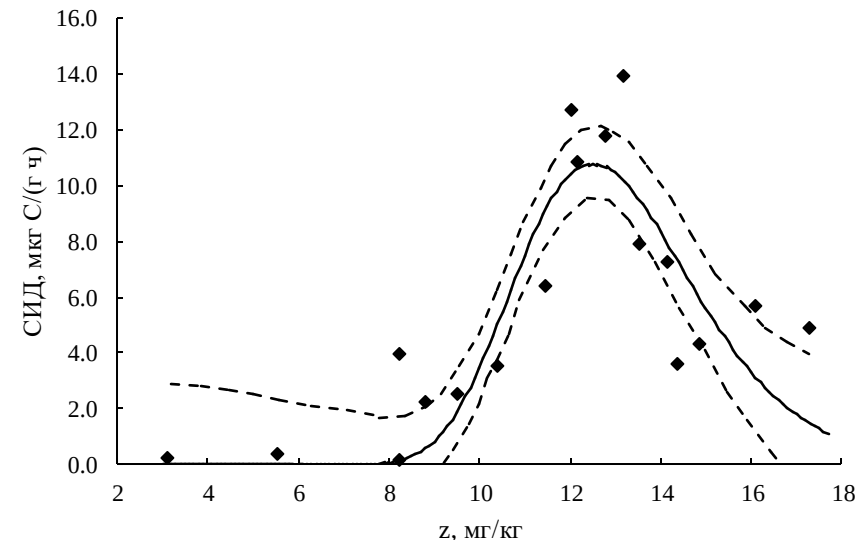
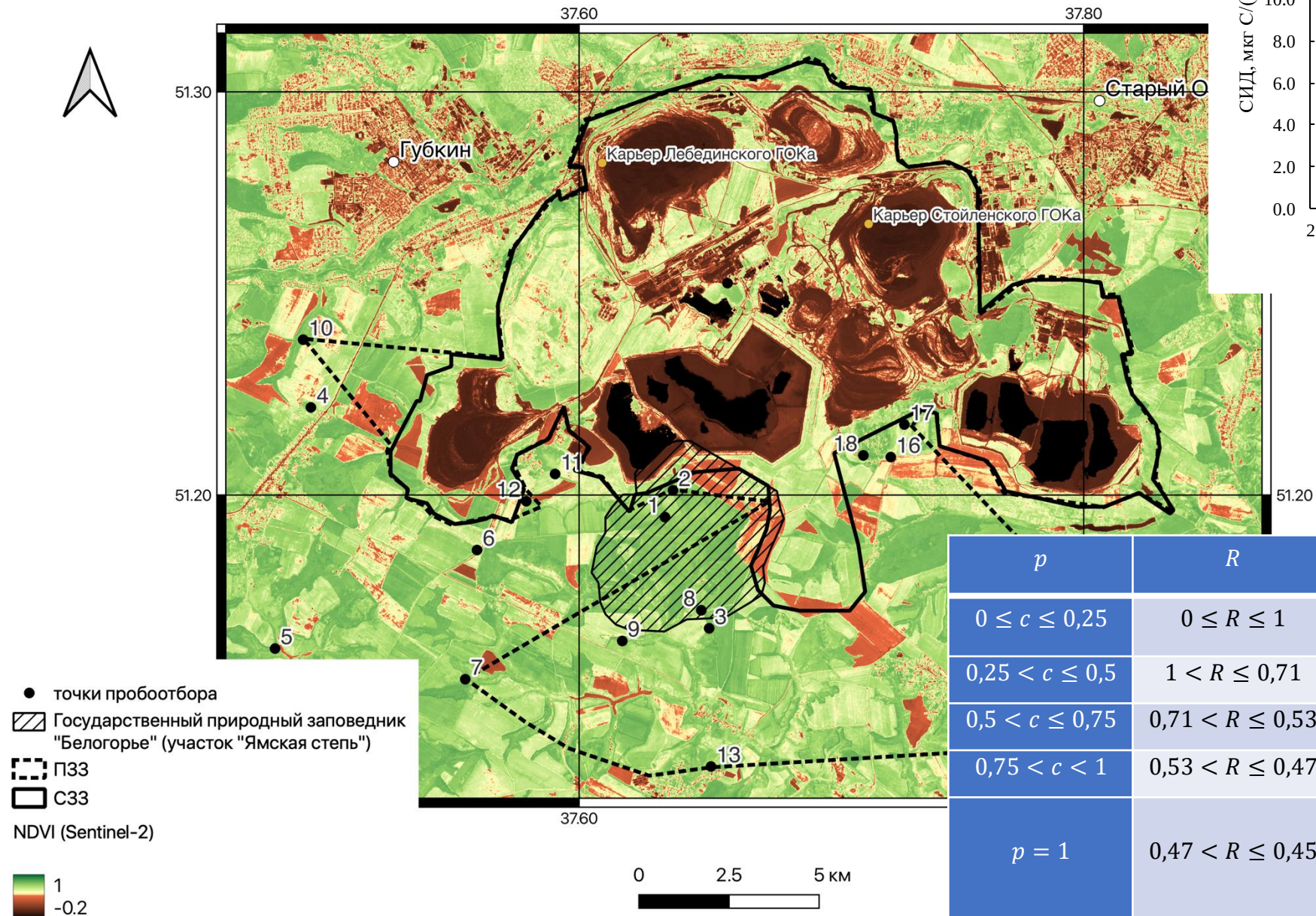




ГМК  
«Норильский  
никель»



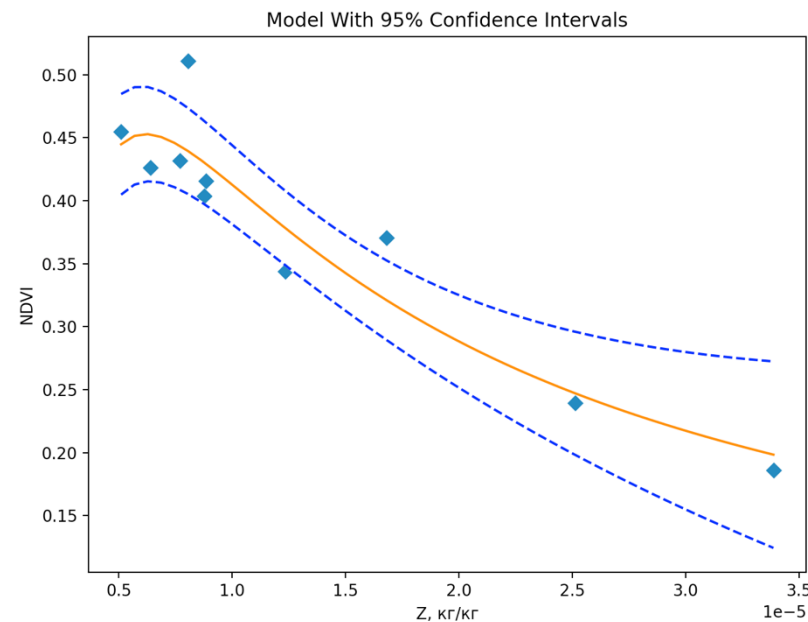
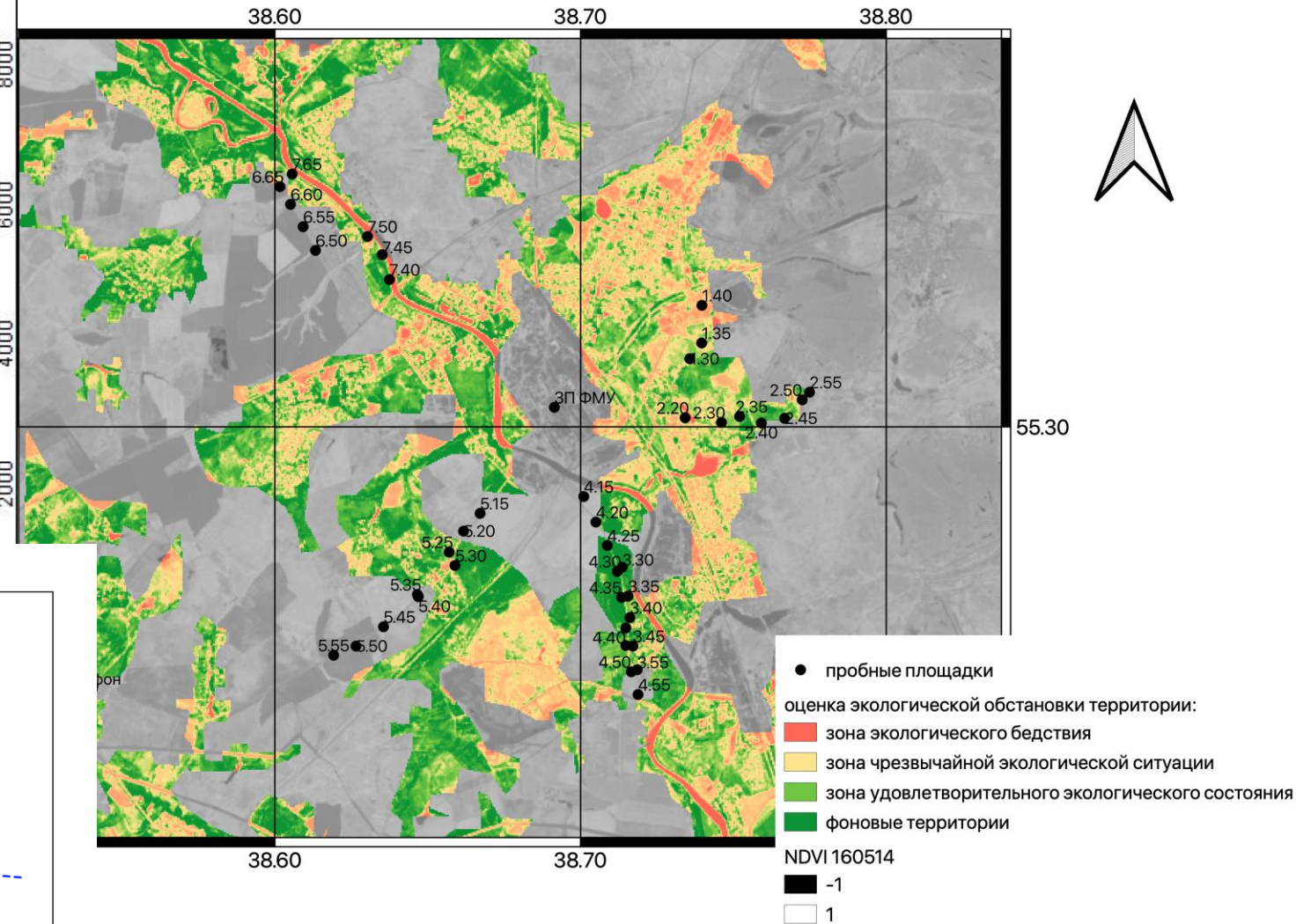
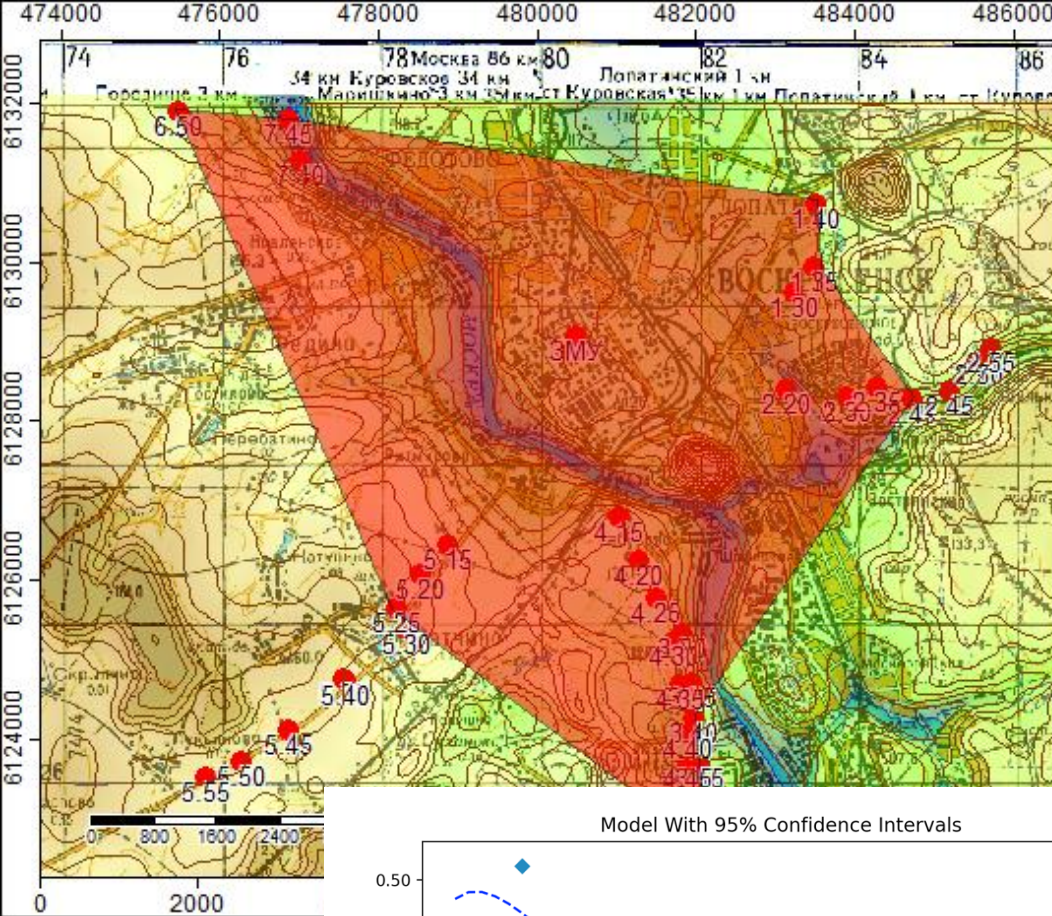
# Белгородский ГОК



| $p$                  | $R$                  | $c$                  | Категори<br>я | Состояние почвы                                    |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|----------------------------------------------------|
| $0 \leq c \leq 0,25$ | $0 \leq R \leq 1$    | $0 < c \leq 12,5$    | I             | Фоновое<br>гомеостатическое                        |
| $0,25 < c \leq 0,5$  | $1 < R \leq 0,71$    | $12,5 < c \leq 22,6$ | II            | Переходное                                         |
| $0,5 < c \leq 0,75$  | $0,71 < R \leq 0,53$ | $22,6 < c \leq 25,5$ | III           | Переходное                                         |
| $0,75 < c < 1$       | $0,53 < R \leq 0,47$ | $25,5 < c \leq 26,7$ | IV            | Переходное                                         |
| $p = 1$              | $0,47 < R \leq 0,45$ | $c > 26,7$           | V             | Нарушенное.<br>Сильные<br>необратимые<br>изменения |



# Воскресенский завод минеральных удобрений



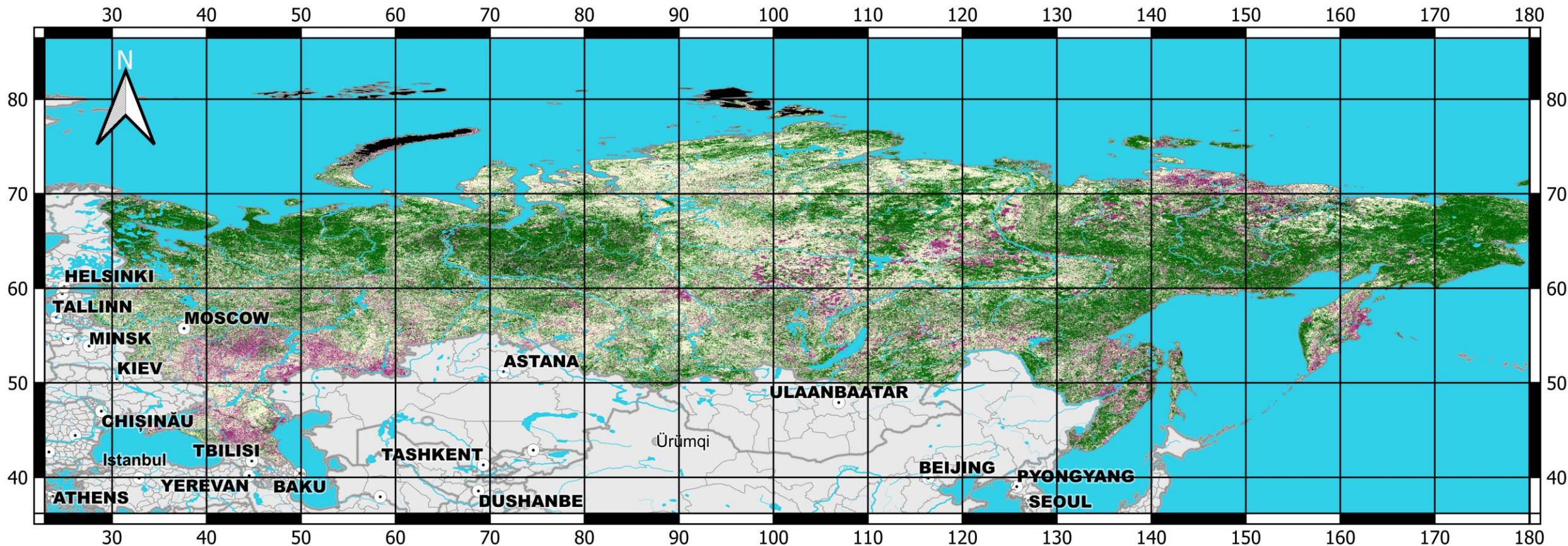
■ - Импактная зона завода по производству фосфорсодержащих минеральных удобрений

Cd вал Pb вал Zn вал Cu вал F общ Sr вал









## Карта земель РФ разной степени потенциальной деградированности по индикатору ЦУР 15.3.1

City

- Capital city
- Coastline
- National border
- Sub-national border
- Disputed border

Lake Ocean

River

- 10.0 - -8.0
- 8.0 - -6.0
- 6.0 - -4.0
- 4.0 - -2.0
- 2.0 - 0.0

Индикатор ЦУР 15.3.1

Земли:

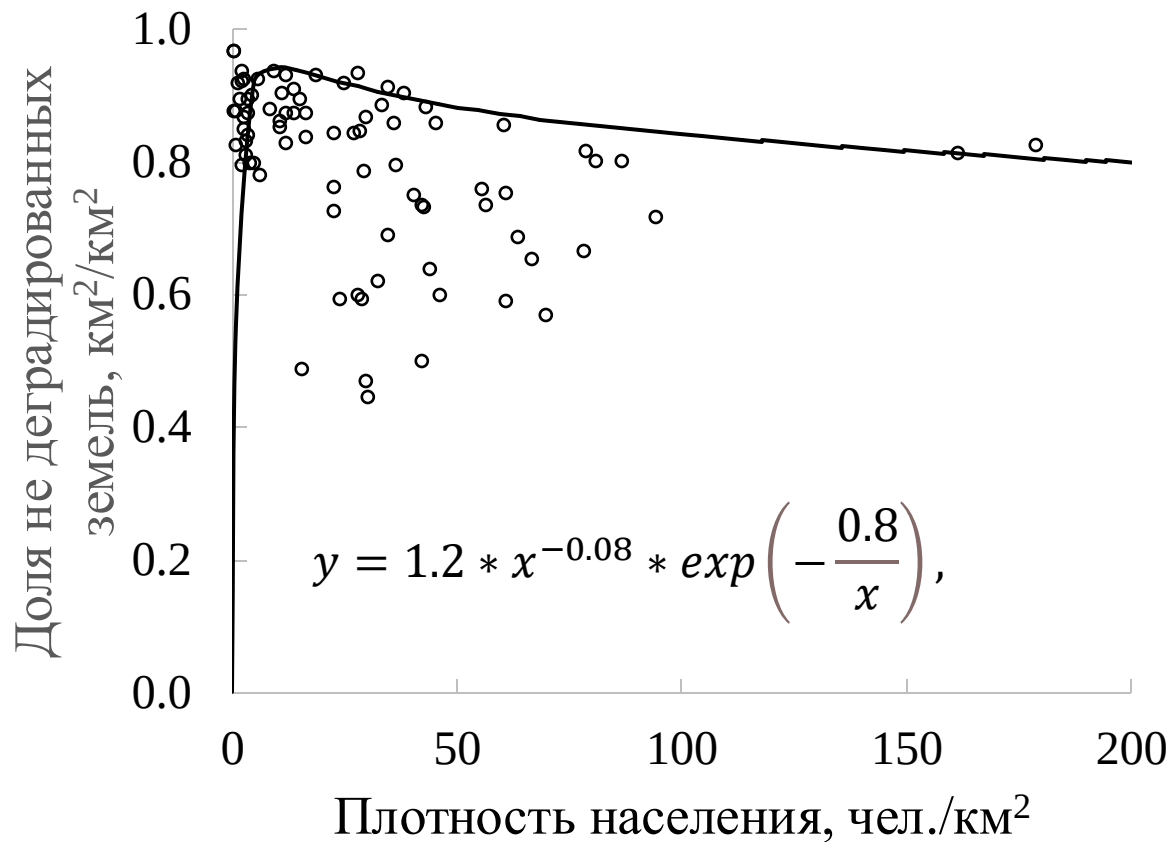
- Нет данных
- Деградированные
- Стабильные
- Улучшившиеся



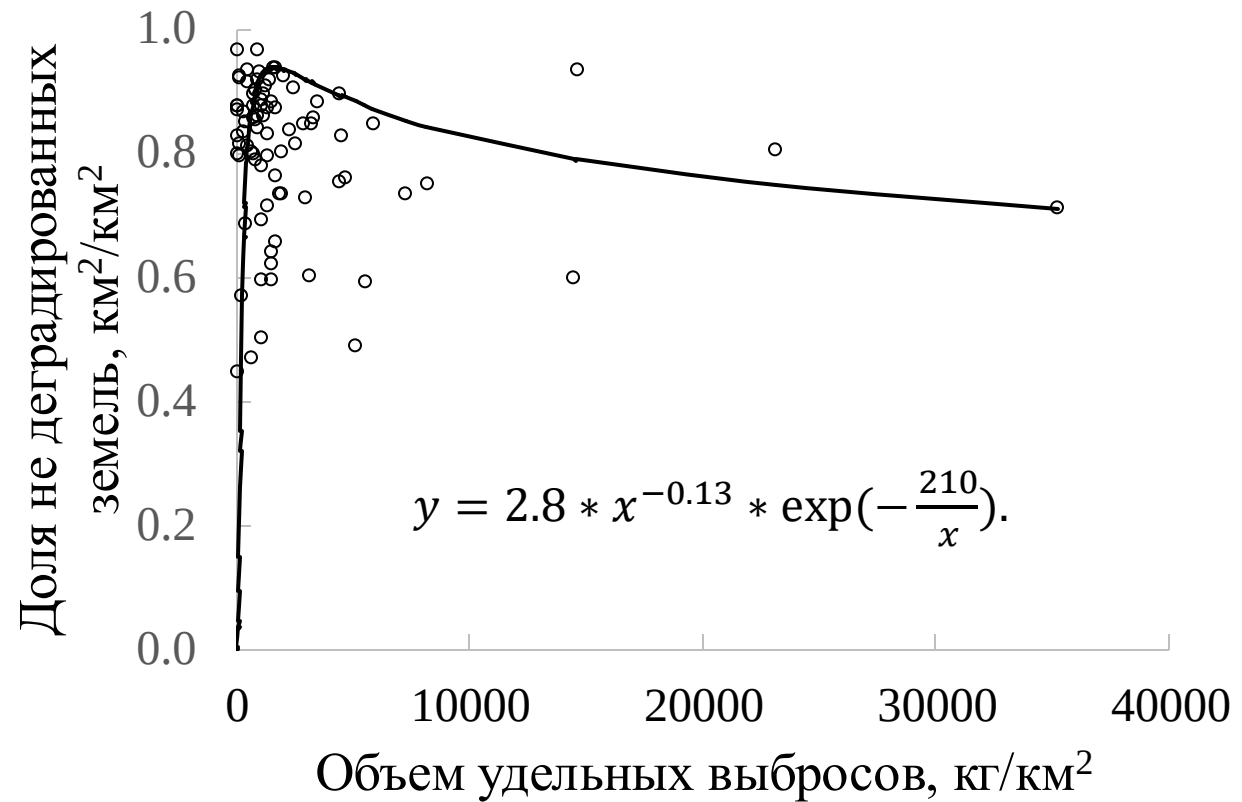
## Площади земель РФ разной степени потенциальной деградированности

| Земли           | Площадь, км <sup>2</sup> | Доля, % |
|-----------------|--------------------------|---------|
| Всего           | 16424045                 | 100     |
| Улучшившиеся    | 6684090                  | 41      |
| Стабильные      | 7432934                  | 45      |
| Деградированные | 2167467                  | 13      |
| Нет данных      | 139553                   | 1       |





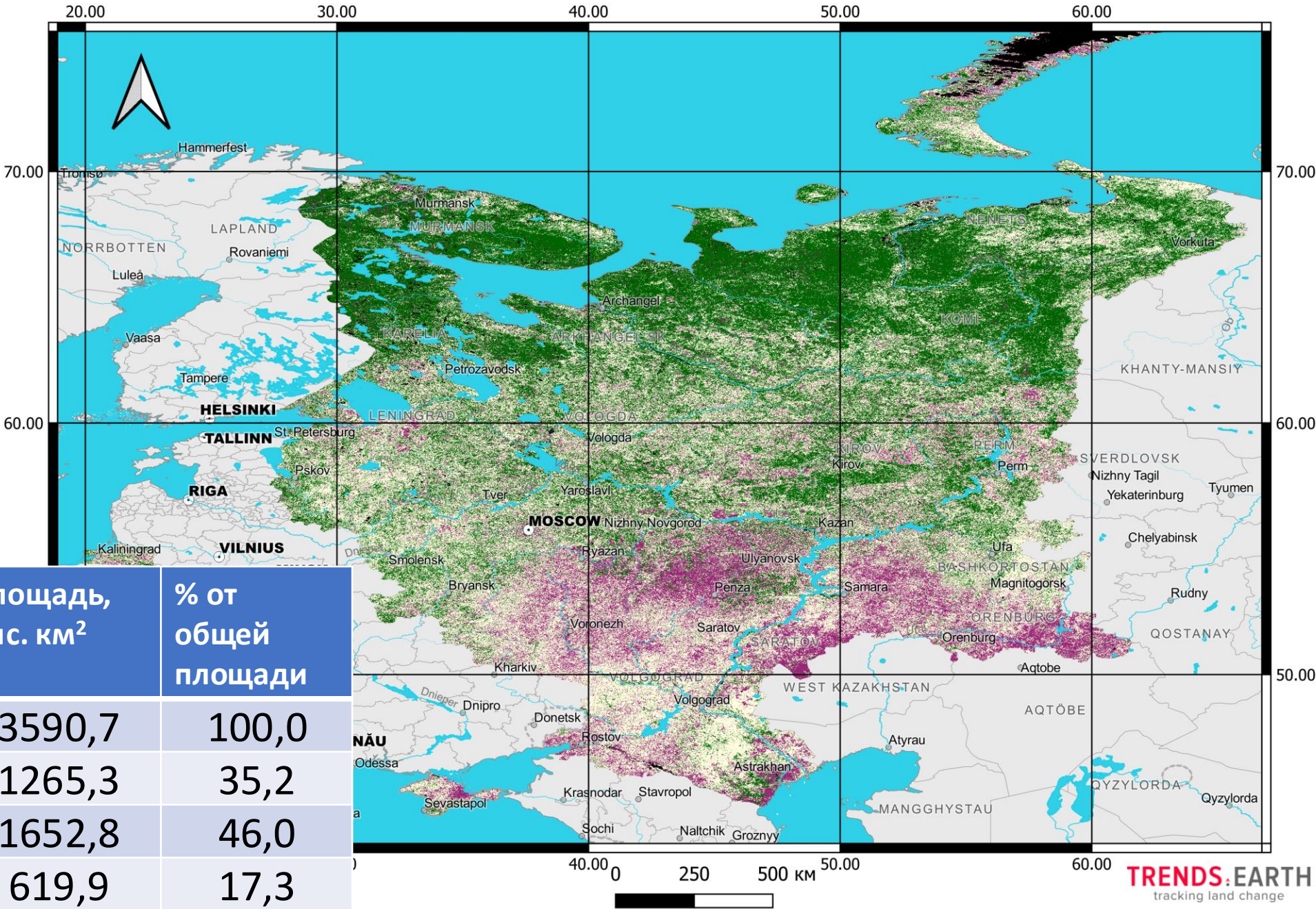
Зависимость доли не деградированных земель в составе земельного фонда РФ с учётом доли земель, не определенных дистанционными методами, **от плотности населения** (точки – экспериментальные данные, линия – расчет по модели (1))



Зависимость доли не деградированных земель в составе земельного фонда РФ с учетом доли земель, не определенных дистанционными методами, **от объема удельных выбросов** (точки – экспериментальные данные, линия – расчет по модели (1))



Карта и площади  
земель Европейской  
части России разной  
степени  
потенциальной  
деградированности  
по индикатору SDG  
15.3.1

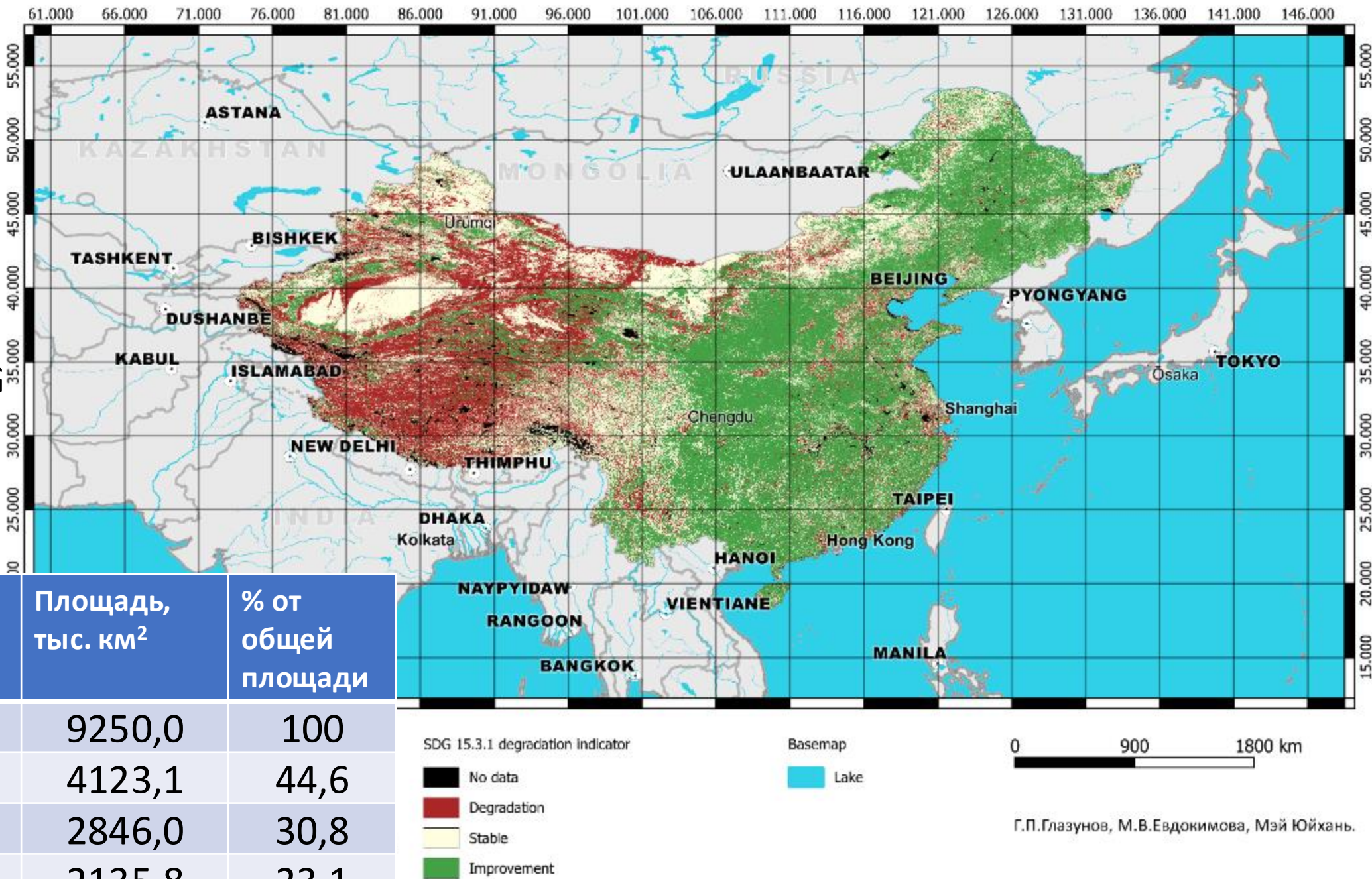


| Земли           | Площадь,<br>тыс. км <sup>2</sup> | % от<br>общей<br>площади |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------|
| Всего           | 3590,7                           | 100,0                    |
| Улучшившиеся    | 1265,3                           | 35,2                     |
| Стабильные      | 1652,8                           | 46,0                     |
| Дегradированные | 619,9                            | 17,3                     |
| Нет данных      | 52,7                             | 1,5                      |



Карта и  
площади  
земель в КНР  
разной степени  
потенциальной  
деградированн  
ости по  
индикатору SDG  
15.3.1

| Земли           | Площадь,<br>тыс. км <sup>2</sup> | % от<br>общей<br>площади |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------|
| Всего           | 9250,0                           | 100                      |
| Улучшившиеся    | 4123,1                           | 44,6                     |
| Стабильные      | 2846,0                           | 30,8                     |
| Дегradированные | 2135,8                           | 23,1                     |
| Нет данных      | 145.1                            | 1.6                      |





# Спасибо за внимание!

Доцент, к.б.н. Мария Витальевна Евдокимова:  
[soil.resources@mail.ru](mailto:soil.resources@mail.ru)