

УДК 004.41-43(075): 37.1174:631.3:528.8:681.518

О.О. БРОВAREЦЬ*, О.Ю. САПЕЛЬНИКОВА**

ПРОГРАМНИЙ КОД ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ЗОН НЕОДНОРІДНОСТІ БІОРИЗНОМАНІТТЯ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

*Київський кооперативний інститут бізнесу і права, м. Київ, Україна

**Київський міжнародний університет, м. Київ, Україна

Анотація. При впровадженні сучасних технологій агропромислового виробництва виникає необхідність роботи з великою кількістю даних для прийняття оперативних рішень. Постійний моніторинг агробіологічного стану сільськогосподарських угідь є ключовою складовою сучасного агро-виробництва. Його реалізація можлива завдяки використанню різноманітних інформаційно-технічних засобів наземного, повітряного та супутникового типу, які застосовуються на різних етапах розвитку сільськогосподарських культур. У результаті такої діяльності накопичуються значні обсяги інформації, що потребують оперативної обробки, аналізу, візуалізації та представлення у зручному для прийняття управлінських рішень форматі. У зв'язку з цим виникає необхідність у систематизації даних, отриманих із різних джерел моніторингу агробіологічного стану, що дозволяє ефективно керувати технологічними процесами та оптимізувати витрати. Такий підхід сприяє оперативному визначенню норм внесення технологічного матеріалу (добрив, насіння, засобів захисту рослин), що передусім дозволяє зменшити витрати на вирощування сільськогосподарських культур шляхом їх оптимізації. Для оперативного прийняття рішень доцільно створити програмне забезпечення, яке дає змогу відображати на карті зони агробіологічної неоднорідності з плавними переходами між різними значеннями. Це дозволить точно визначати ділянки з подібним біологічним станом для більш раціонального застосування технологічних матеріалів. Розроблений програмний продукт дає змогу реалізувати диференційоване внесення ресурсів на основі даних з інформаційно-технічних систем моніторингу. Попередні розрахунки свідчать, що володіння такою інформацією дозволяє зекономити до 10–25 % технологічних матеріалів, а також сприяє підвищенню врожайності на 10–20 центнерів із гектара.

Ключові слова: програмний код, зони неоднорідності, агробіологічний стан, інформаційно-технічні системи, моніторинг, точне землеробство, біорізноманіття, сільськогосподарські угіддя.

Abstract. When implementing modern technologies of agro-industrial production, there is a need to work with a large amount of data for making operational decisions. Constant monitoring of the agrobiological state of agricultural lands is a key component of modern agricultural production. Its implementation is possible through the use of various information and technical means of ground, air, and satellite type, which are used at different stages of crop development. As a result of such activities, significant amounts of information are accumulated that require operational processing, analysis, visualization, and presentation in a format convenient for making management decisions. In this regard, there is a need to systematize data obtained from various sources of monitoring the agrobiological state, which allows you to effectively manage technological processes and optimize costs. This approach contributes to the prompt determination of the norms for the introduction of technological material (fertilizers, seeds, plant protection products), which, in turn, lets you reduce the costs of growing agricultural crops by optimizing them. For prompt decision-making, it is advisable to create software that allows you to display zones of agrobiological heterogeneity on the map with smooth transitions between different values. This will help you accurately determine areas with a similar biological state for a more rational use of technological materials. The developed software product gives an opportunity to implement differentiated applications of resources based on data from information and technical monitoring systems. Preliminary calculations show that possession of such information allows you to save up to 10–25 % of technological materials and also helps to increase yields by 10–20 quintals per hectare.

Keywords: *program code, zones of heterogeneity, agrobiological state, information and technical systems, monitoring, precision agriculture, biodiversity, agricultural lands.*

DOI: 10.34121/1028-9763-2025-2-30-34

1. Вступ. Постановка проблеми

Програмна система для виділення зон неоднорідності біорізноманіття агробіологічного стану сільськогосподарських угідь є важливим елементом сучасних технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві [1, 2].

Для оперативного прийняття рішення фахівцем аграрного виробництва або сільськогосподарською машиною дані масиви даних потрібно опрацювати з використанням певних алгоритмів та представити у відповідній формі [3, 4].

Методика аналізу даних має великий набір засобів та методів їх класифікації [9].

Дані задачі ефективно вирішуються з використанням методів кластерного аналізу [10]. Залежно від наявності попередньої вибіркової інформації говорять про класифікацію без навчання (інформація про самі класи відсутня) і про класифікацію з навчанням (є навчальні вибірки) [11, 12].

Мета статті — створити програмний код на мові програмування R для визначення зони неоднорідності на основі геодетермінованих даних із параметрами агробіологічного стану у визначених місцях та показати їх.

2. Виклад основного змісту дослідження

Для аналізу зон неоднорідності на основі геоприв'язаних даних параметрів агробіологічного стану можна використовувати мову R із такими бібліотеками, як *sf* для роботи з геопросторовими даними, *ggplot2* для візуалізації, *spatstat* для аналізу просторових даних або *gstat* для інтерполяції.

Наведемо програмний код у мові програмування R:

```
# Встановлення необхідних бібліотек
install.packages(c("sf", "ggplot2", "sp", "gstat", "raster"))

# Завантаження бібліотек
library(sf)      # Робота з геопросторовими даними
library(ggplot2) # Візуалізація
library(gstat)   # Інтерполяція
library(raster)  # Робота з растровими даними

# Дані (створення штучного набору для прикладу)
# Створимо набір даних із координатами (широта і довгота) та агробіологічним показником
set.seed(123)
data <- data.frame(
  x = runif(100, 30, 40), # Довгота
  y = runif(100, 50, 60), # Широта
  agro_param = runif(100, 10, 50) # Параметр агробіологічного стану
)

# Перетворення даних у геопросторовий об'єкт
geo_data <- st_as_sf(data, coords = c("x", "y"), crs = 4326)
```

```

# Інтерполяція значень для створення зон неоднорідності
# Перетворення в проєкцію для аналізу
geo_data_proj <- st_transform(geo_data, crs = 32636) # UTM Zone 36N

# Створення сітки для інтерполяції
grd <- st_make_grid(geo_data_proj, cellsize = 500, what = "centers")
grd_sf <- st_as_sf(grd)

# Інтерполяція методом Крігінга
kriging_model <- gstat(formula = agro_param ~ 1, data = geo_data_proj)
kriging_result <- predict(kriging_model, newdata = grd_sf)

# Перетворення результату у растровий формат
rast <- rasterFromXYZ(as.data.frame(st_coordinates(grd_sf), kriging_result$var1.pred))

# Візуалізація зон неоднорідності
ggplot() +
  geom_raster(data = as.data.frame(rasterToPoints(rast)),
    aes(x = x, y = y, fill = layer)) +
  geom_point(data = data, aes(x = x, y = y), color = "red", size = 1) +
  scale_fill_viridis_c(name = "Agro param") +
  labs(title = "Зони неоднорідності агробіологічного стану") +
  theme_minimal()

```

Пояснення до програмного коду:

1. Генерація даних: створено координати і показники.
2. Перетворення в геопросторовий формат: використання sf для роботи з геоданими.
3. Інтерполяція: використовує метод Крігінга для просторового згладжування даних.
4. Візуалізація: використання ggplot2 для відображення зони неоднорідності на карті.

Програмний код створює інтерпольовану карту, яка відображає зони неоднорідності агробіологічного стану на основі даних моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Далі розширимо програмний код, напишемо програму на мові R для визначення зони неоднорідності на основі геодетермінованих даних із параметрами агробіологічного стану у визначених місцях та покажемо її реалізацію на конкретному прикладі, включивши реальний приклад із гіпотетичними геоданими, які будуть імітувати польові виміри параметрів агробіологічного стану. Використовуємо дані для створення карт зон неоднорідності з використанням інтерполяції.

```

# Встановлення необхідних пакетів
install.packages(c("sf", "ggplot2", "gstat", "raster", "viridis"))

# Завантаження бібліотек
library(sf)
library(ggplot2)
library(gstat)

```

```

library(raster)
library(viridis)

# Гіпотетичні дані про агробіологічний стан
# Координати та виміри параметра на конкретних точках
data <- data.frame(
  lon = c(30.1, 30.2, 30.3, 30.4, 30.5, 30.6, 30.7, 30.8),
  lat = c(50.1, 50.2, 50.3, 50.4, 50.5, 50.6, 50.7, 50.8),
  agro_param = c(15, 20, 25, 30, 20, 15, 10, 5) # Параметр агробіологічного стану
)

# Перетворення в об'єкт sf
geo_data <- st_as_sf(data, coords = c("lon", "lat"), crs = 4326)

# Перетворення координат у метричну проєкцію для аналізу
geo_data_proj <- st_transform(geo_data, crs = 32636) # UTM Zone 36N

# Створення сітки для інтерполяції
grd <- st_make_grid(geo_data_proj, cellsize = 500, what = "centers")
grd_sf <- st_as_sf(grd)

# Кригінг для інтерполяції
kriging_model <- gstat(formula = agro_param ~ 1, data = geo_data_proj)
kriging_result <- predict(kriging_model, newdata = grd_sf)

# Перетворення результатів у растровий формат
rast <- rasterFromXYZ(as.data.frame(cbind(st_coordinates(grd_sf),
kriging_result$var1.pred)))

# Задаємо CRS для правильного відображення
crs(rast) <- CRS("+proj=utm +zone=36 +datum=WGS84 +units=m +no_defs")

# Візуалізація
ggplot() +
  geom_raster(data = as.data.frame(rasterToPoints(rast)),
    aes(x = x, y = y, fill = layer)) +
  geom_point(data = data, aes(x = lon, y = lat), color = "red", size = 2) +
  scale_fill_viridis(name = "Agro Param") +
  labs(title = "Зони неоднорідності агробіологічного стану",
    x = "Longitude", y = "Latitude") +
  theme_minimal()

```

Опис порядку роботи програмного коду:

1. Дані:
 - введено гіпотетичні координати (широта, довгота) та вимірювання агробіологічного параметра.
2. Інтерполяція:
 - для створення зони неоднорідності використано метод Кригінга;

- побудована сітка, яка інтерполуює між значеннями точок вимірювання.
3. Візуалізація:
- карта показує зони неоднорідності, відображені за допомогою кольорової шкали;
 - точки вимірювання виділені червоним.

3. Висновок

На карті відображаються зони агробіологічної неоднорідності з плавними переходами між значеннями, що дозволяють ідентифікувати ділянки з однаковими (повними) станами.

Цей код дозволяє виділити на карті зони агробіологічної неоднорідності з плавними переходами між значеннями, що дозволяють ідентифікувати ділянки неоднорідності біорізноманіття агробіологічного стану сільськогосподарських угідь з однаковими (повними) станами.

Також цей програмний код можна розширити, додавши нові геовизначені параметри з певним набором параметрів агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Федірець О.В., Броварець О.О., Мартин О.М. Інноваційне управління агропродовольчою сферою як соціально-економічною системою в умовах безпекових викликів. *Інвестиції: практика та досвід. Економічна наука*. 2024. № 8. С. 52–58.
2. Броварець О.О. Аналіз зон неоднорідності (варіабельності) стану сільськогосподарських угідь із використанням засобів моніторингу та розробка програмного забезпечення для його забезпечення. *Математичні машини і системи*. 2022. № 3. С. 85–99.
3. Броварець О.О. Розумні машини для розумних господарів. *Зерно*. 2016. № 9 (81). С. 262–266.
4. Броварець О. Від безплужного до глобального розумного землеробства. *Техніка і технології АПК*. 2016. № 9 (84). С. 19–23.
5. Броварець О.О. Від безплужного до глобального розумного землеробства. *Техніка і технології АПК*. 2016. № 10 (85). С. 28–30.
6. Адамчук В.В., Мойсеєнко В.К., Кравчук В.І., Войтюк Д.Г. Техніка для землеробства майбутнього. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2002. Вип. 86. С. 20–32.
7. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / За ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Коваля. К.: Аграрна наука, 2004. 398 с.
8. Мироненко В.Г., Броварець О.О. Інтегровані системи автоматичного управління технологічними процесами у рослинництві. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. К., 2015. Ч. 1, Вип. 212. С. 62–71.
9. Ковалюк Т.В. Основи програмування. К.: ВНЗ, 2005. 384 с.
10. Яшина О.В., Жульковський О.О. Обчислювальна техніка та програмування: Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. 309 с.
11. Лавріщева К.М. Основні напрями досліджень у програмній інженерії і шляхи їхнього розвитку. *Проблеми програмування*. 2003. № 3–4. С. 44–58.
12. Бабенко Л.П., Лавріщева К.М. Основи програмної інженерії: навч. посібн. К.: Знання, 2001. 269 с.

Стаття надійшла до редакції 31.12.2024