

Spatial dynamic of the agriculture fields towards their shape and size

O.V. Zhukov^[1, 3], V.O. Sirovatko^[2], N.O. Ponomarenko^[3]

¹Oles Honchar Dnipropetrovsk National University
Gagarina Prospekt 72, Dnipro, Ukraine, 49010

²Dnepr Branch of State Institute of Ukrainian Soil Protection,
Naukova st., 65A, Doslidne, Dnipro region, Ukraine, 52071

³Dnipropetrovsk State Agrarian and Economics University
Sergiy Efremov Str. 25, Dnipro, Ukraine, 49027

E-mail: zhukov_dnepr@rambler.ru

Tel.: +380985079682

Submitted 03.04.2017. Accepted 02.07.2017

We estimated the size and shape characteristics of agricultural fields within the administrative area and identified patterns of the margin trends from 1950-1960 till the present time. Here we considered large-scale soil maps for the area of Vasilkovsky district of the Dnepropetrovsk region, which were drawn up in 1950-1960. To assess the landscape metric we used FRAGSTATS program which allow to make conformity assessment of the observed distributions of field sizes regards the normal, exponential, log-normal, gamma, Weibull, and Pareto distributions. We also used Box-Cox transformation to convert the experimental data into the normal distribution law for the further application of the transformed data in regression analysis. We estimated that the area of agricultural fields ranged from 1.20 to 269.00 hectares during the period of large-scale mapping in 1950-1960. The variation limits of the field sizes based on the results of remote sensing data and in our time they are 2,5-266.57 hectares. Area of the fields in different periods strongly correlate and are statistically significant ($r = 0.98$, $p = 0.00$). Field sizes currently associated with the field sizes in the 50-60 years of linear regression. Shape parameters and field sizes significantly correlated, therefore, to establish the main trends of varying shape and size of fields, as well as for non-multicollinearity variables for regression analysis, we performed a multivariate factor analysis. An important aspect of the structuring of the agri-landscape is the location of settlements and, therefore, the fields distance from them. In results obtained indicate that the processes increase and decrease the size of fields in agricultural production are determined by various factors. Aspects of the shape and size of the fields associated with the dynamics of the processes that lead to variations in field areas. Fields that have shown a tendency to change their size, have different characteristics of forms and size from the stable fields. Typically, variable field size is smaller and more complex shapes.

Key words: agricultural field, shape, size, statistical distribution, landscape ecology

Динаміка розмірів сільськогосподарських полів як функція їх розмірів та форми

О.В. Жуков^[1, 3], В.О. Сироватко^[2], Н.О. Пономаренко^[3]

¹Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010

²Дніпропетровська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України»
вул. Наукова, 65 А, с. Дослідне, Дніпровська область, Україна, 52071

³Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49027

E-mail: zhukov_dnepr@rambler.ru

Tel.: +380985079682

У роботі оцінено характеристики розміру та форми сільськогосподарських полів у межах адміністративного району та визначені закономірності тенденцій змін розміру полів у період з 50–60-х років минулого століття по наш час. За основу дослідження взято великомасштабні ґрунтові карти для територій селищних рад Васильківського району Дніпропетровської області, які було складено у 50–60-ті роки ХХ століття. Для оцінки ландшафтних метрик застосована програма FRAGSTATS. Були зроблені оцінки відповідності спостережуваних розподілів розмірів полів нормальному, експоненціальному, лог-нормальному законам, а також законам гамма, Вейбулла та Парето. Для приведення експериментальних даних до нормального закону розподілу для подальшого застосування трансформованих даних у регресійному аналізі було застосоване перетворення Бокса-Кокса. Встановлено, що площа сільськогосподарських полів у період проведення великомасштабного картографування у 50–60-ті роки знаходилась у діапазоні від 1,20 до 269,00 га. Межі варіювання розміру полів за результатами даних дистанційного зондування Землі у наш час становлять 2,75–266,57 га. Площі полів у різні періоди сильно та статистично вірогідно корелюють ($r = 0,98$, $p = 0,00$). Розміри полів у теперішній час пов'язані з розмірами полів у 50-60-ті роки лінійною регресією. Параметри форми та розмірів полів значно скорельовані, тому для встановлення головних трендів варіювання форми та розмірів полів, а також для одержання немультіколінеарних змінних для проведення регресійного аналізу, нами проведений багатовимірний факторний аналіз. Важним аспектом структурування сільськогосподарського ландшафту є розташування населених пунктів та, відповідно, відстань полів від них. Одержані результати свідчать про те, що процеси збільшення та зменшення розмірів полів у процесі сільськогосподарського виробництва визначаються різними чинниками. Аспекти форми та розміру полів пов'язані з динамікою процесів, які призводять до варіювання площі полів. Поля, які виявили схильність до зміни своїх розмірів, відрізняються за характеристиками форми та розмірів від стабільних полів. Як правило, варіабельними є поля меншого розміру та більш складної форми.

Ключові слова: сільськогосподарське поле, форма, розмір, статистичний розподіл, ландшафтна екологія

Вступ

Структура, функції та динаміка сучасних екосистем зазнають значного впливу людської діяльності, тому пізнання механізмів, які відповідають за зміни навколишнього середовища, потребують інтеграції як природних та антропогенно індукованих механізмів (Alberti, 2005). Зміни у структурі покриву земної поверхні, які виникають внаслідок сільськогосподарського освоєння, є найважливішим та поширеним напрямком трансформацій, які виникають внаслідок активності людини (Vitousek, 1994). Сільськогосподарські поля відносяться до категорії природно-антропогенних утворень, які не володіють властивістю тривалого самопідтримання, або квазіприродних систем (Reimers, 1994).

Ґрунтознавці України останні два десятиліття постійно наголошують на необхідності повторного великомасштабного картографування ґрунтового покриву країни. Це пов'язано з тим, що існуючі на даний час ґрунтові карти склалися ще в 60-і роки і не відображають сучасний стан ґрунтового покриву (Krasekha, 2011). Реальна інформація про фактичний сучасний стан земель сільськогосподарського призначення у державі відсутня (особливо якщо взяти до уваги інтенсивність деградаційних процесів, які продовжують негативно впливати на стан ґрунтів). Це ускладнює будь-які стратегічні підходи до сільськогосподарського (і не тільки) виробництва (Polchina, 2004). Можливим шляхом розв'язання цієї проблеми є залучення методів геоінформаційного картографування земельних ресурсів з використанням даних дистанційного зондування Землі та створення комплексних атласів (Kovalchuk, Rozhko, 2014).

Розміри сільськогосподарських полів є маркером способів сільськогосподарського виробництва. Малі земельні власники найчастіше обробляють незначні за розмірами поля, тоді як великі агрохолдинги обробляють поля значні за розмірами (Debatsa et al., 2016). Просторові особливості об'єктів важливі для класифікації типів покриву земної поверхні, тому що різні класи з подібними спектральними особливостями можуть мати різні просторові властивості. Наприклад, сільськогосподарські поля мають регулярну форму, тоді як подібні до них природні лугові угруповання мають складну форму їх меж (Jiao, Liu, 2012). Експансія сільського господарських угідь найчастіше пов'язана зі створенням малих за розмірами полів у маргінальних землях (Debatsa et al., 2016). Найбільші за середнім розміром поля характерні для північної Америки (121 га), дещо менші ці показники для Латинської Америки (67 га) та Західної Європи (27 га). Найменші поля зустрічаються в Азії та Африці (1,6 га) (Debatsa et al., 2016).

Ландшафтні метрики широко застосовуються для кількісного відображення типів застосування земного покриву та особливостей просторового розподілу типів ландшафтно-екологічного покриву, а також для співставлення їх з географічними та екологічними процесами (McGarigal, Marks, 1995; Malaviya et al., 2010). Застосування концепції ландшафтно-екології й даних дистанційного зондування Землі дозволяє оцінити просторово-часову динаміку рослинного покриву агроценозів (Zhukov et al., 2013; 2015). Обґрунтовано доцільність застосування для оцінки ландшафтного різноманіття територій ландшафтних метрик, до яких належать: індекс найбільшого фрагмента, індекс щільності меж, індекс розподілу ядер, індекс різноманіття Шеннона, індекс рівномірності Сімпсона, індекс контакту, індекс окружності, індекс щільності фрагментів, індекс близькості та індекс зчеплення. Ці індекси мають високу кореляцію з показником рівня розораності, часткою природних угідь та щільністю лісосмуг (Kuchma, 2015). Ландшафтні метрики на рівні окремих типів покриву включають також індекси форми. Аналіз ландшафтних метрик допомагає зрозуміти властивості класів ландшафтного покриву (Jiao, Liu, 2012).

Було встановлено, що зв'язність ландшафтів є одним з найголовніших факторів, який обмежує дисперсію серед популяцій (Alados et al., 2004). Аналіз ландшафтних метрик дозволив показати, що гетерогенність місцеперебувань була

вищою серед посівів сільськогосподарських культур, ніж у моновидових плантаціях хвойних рослин (Navarro-Cerrillo et al., 2012). У ряді досліджень показано, що гетерогенність середовища є важливим фактором, який сприяє біологічному різноманіттю (Rocchini et al., 2006; Jomaa et al., 2008).

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва призводить до зростаючого зменшення кількості та розмірів границь полів (Wehling, Diekmann, 2010). Показана ефективність застосування індексів ландшафтного різноманіття як інструменту для аналізу динаміки землекористування, виявлення зон зменшення ландшафтного різноманіття, а також кількісного оцінювання прогнозованих або змодельованих змін у структурі землекористування, та їх вплив на різноманіття агроландшафтів (Kushma, 2015). Границі полів регулярно зазнають впливу пестицидів та мінеральних добрив з навколишніх полів (Kleijn, Verbeek, 2000). Агрегація сільськогосподарських полів та придушення площ, які не культивуються, призводить до трансформації складних ландшафтів з відносно високою часткою напівприродних оселищ у прості за своєю структурою ландшафти з домінуванням орних полів (Roschewitz et al., 2005). Показано, що інтенсифікація сільськогосподарського виробництва призводить до значного зменшення різноманіття угруповань рослин у межах границь полів (Boutin, Jobin, 1998). Роль границь полів у підтриманні біологічного різноманіття дуже значна, так як границі виступають у ролі рефугіумів високого рівня ботанічного різноманіття та підтримують різноманітну фауну (Marshall, Moonen, 2002). Обмежена ширина границь полів робить їх більш чутливими до зовнішніх впливів (Kleijn, Verbeek, 2000), відповідно, ширина границь полів розглядається як важливий детермінант різноманіття угруповань рослин (Schippers, Joenje, 2002).

Підвищення складності форми сільськогосподарських угідь збільшує зону негативного впливу на суміжні природні території. З іншого боку, для сільськогосподарських угідь збільшення межі з природними угіддями може позитивно впливати на продуктивність сільськогосподарських культур, рівень біологічного контролю шкідників, регуляцію водного режиму та захист від ерозійної деградації ґрунтів (Kuchma, 2015).

Ландшафтний менеджмент є важливим для збереження біорізноманіття (Lindenmayer et al., 2008; Tschardt et al., 2012). Ландшафтна гетерогенність має дві відмінні компоненти: композиційна, яка тим більше, чим більше різних типів представлено у ландшафті та чим більш вирівняно вони розподілені, та структурна компонента, яка відображає ступінь просторової складності ландшафтних патернів безвідносно до представлених типів ландшафтного покриву (Duelli, 1997; Fahrig, Nuttle, 2005). Можна очікувати, що ці дві компоненти позитивно впливають на біорізноманіття (Fahrig et al., 2011). Інтенсифікація сільського господарства знижує як композиційне, так і структурне ландшафтне різноманіття (Fahrig et al., 2015). Зміни конфігурації сільськогосподарських угідь може призвести до: фрагментації ландшафтів, ізоляції локусів місцеперебувань, спрощення біорізноманіття, деградації природних оселищ, модифікації форм рельєфу та гідрологічної мережі, інвазії екзотичних видів, підвищенню ризиків катастрофічних інцидентів (пожежі, повені), порушенню потоків енергії та кругообігу речовин (Alberti et al., 2003; Alberti, 2005; Pickett et al., 2000). Оскільки природні території в агроландшафтах зазвичай мають складну форму, на відміну від антропогенних об'єктів, таких як забудова, дороги, об'єкти інфраструктури, то збільшення площі природних угідь зумовлює збільшення значень індексів форми ландшафту (Kuchma, 2015). Було показано, що в агроландшафтах зменшення розмірів сільськогосподарських полів приводить до збільшення структурної компоненти ландшафтного різноманіття та збільшення біологічного різноманіття різних таксономічних груп живих організмів: рослин, птахів, метеликів, павуків, турунів та сірфід (Fahrig et al., 2015). Як гіпотеза висунуто припущення, що це явище можна пояснити тим, що малі за розмірами поля мають більший доступ до оселищ на границях полів (Merckx et al., 2009). Біорізноманіття агроценозів більшою мірою залежить від присутності напівприродних оселищ на границях полів ніж від більш великих природних площ, таких як ділянки лісу. Важливість границь полів для біорізноманіття агроценозів показана для різних таксономічних груп, включаючи птахів (Vickery et al., 2009), безхребетних (Holland, Fahrig, 2000; Merckx et al., 2012) та рослин (Сонсерсіон et al., 2012).

Мета нашої роботи – оцінити характеристики розміру та форми сільськогосподарських полів у межах адміністративного району та визначити закономірності тенденцій змін розміру полів у період з 50–60-х років минулого століття по наш час.

Матеріали і методи досліджень

За основу дослідження взяти великомасштабні ґрунтові карти для територій селищних рад Васильківського району Дніпропетровської області, які було складено у 50–60-ті роки ХХ століття. Координатна прив'язка великомасштабних ґрунтових карт була здійснена на основі співставлення чітко позначених на картах та космічних знімках орієнтирів за допомогою функцій панелі Georeferencing програми ArcMap. Ця операція дозволила знайти відповідність просторових об'єктів на карті та на знімках. Векторизація полів та населених пунктів була виконана за допомогою ручного дігітайзінга по границях, які спостерігаються на сучасних космічних знімках. Границю полів встановлювали візуально як відносно однорідну за структурою рослинного покриву територію. У випадку наявності ерозійних форм рельєфу, які позначалися суттєвими відмінностями у рослинному покриві, це індикувалося на основі суттєвої різноманітності забарвлення основної частини поля та його фрагментів, такі фрагменти оконтурювались та не включалися у границі поля.

Ландшафтні метрики. Для оцінки ландшафтних метрик застосована програма FRAGSTATS (Forest Science Department, Oregon State University, U.S.A.). Програма FRAGSTATS широко застосовується для кількісної оцінки ландшафтною структури (McGarigal, Marks, 1995). За її допомогою можна одержати множину метрик: площі, щільності просторових локусів, розмірів, границь, форми, властивостей основних ділянок та різноманіття (Navarro-Cerrillo et al., 2012), проте багато з метрик сильно скорельовані (McGarigal, Marks, 1995), тому для одержання ортогональних (незалежних) змінних нами був проведений багатовимірний факторний аналіз.

Метрики розмірів полів. Метриками розмірів є площа поля (AREA, га), периметр (PERIM, у км), радіус обертання (Gyrate – GYR, у м – є мірою видовженості поля).

Метрики форми. Відношення периметру поля до його площі (PARA, m^{-1}) є простою мірою форми. Проблемою цієї метрики полягає у тому, що вона змінюється разом з розміром поля. Наприклад, за умов постійної форми, збільшення розміру полів буде супроводжуватися зменшенням відношення периметру поля до його площі.

Індекс форми (SHAPE) є відношенням периметру до найменшого можливого периметру поля відповідної площі квадратної форми (Milne, 1991, Vogaert et al., 2000). Змінюється від 1 (поле має квадратну форму) і до нескінченності при набутті полем більш іррегулярної форми.

Індекс фрактальної розмірності (FRAC) обраховується наступним чином (Milne, 1991, Vogaert et al., 2000):

$$FRAC = \frac{2 \times \ln(0,25 \times PERIM)}{\ln(AREA)}$$

Індекс FRAC варіює у межах від 1 до 2. Фрактальна розмірність більша, ніж 1, для 2-х розмірного поля індикує відхилення від евклідової геометрії, тобто збільшення складності форми об'єкту. Індекс FRAC наближається до 1 для форм з дуже простим периметром, так як у квадрату та наближається до 2 у об'єктів зі значно звислою формою, який заповнює собою площу. Цей індекс є дуже привабливим тому що він віддзеркалює форму поля у широких межах діапазону розмірів, так як поряд з індексом SHAPE, індекс FRAC вирішує недолік, який має такий індекс форми, як PARA, а саме – кореляцію з розміром об'єкту.

Індекс циркулярності (CIRCLE) може бути розрахований наступним чином:

$$CIRCLE = 1 - \left[\frac{AREA}{AREA_c} \right],$$

де AREA – площа поля; $AREA_c$ – площа найменшого кола, що описує навколо дане поле.

Індекс CIRCLE знаходиться у діапазоні від 0 до 1. Для полів, які мають форму кола, індекс циркулярності буде дорівнювати 0. Для форм, подовжених у лінію, яка складається з окремих пікселів растру, цей показник буде наближатися до 1.

Індекс цілісності (CONTIG) варіює у межах від 0 до 1 (LaGro, 1991). Для поля, яке позначається одним пікселем, індекс CONTIG буде дорівнювати 0, та збільшується для великих суцільних полів до 1.

Індекс випуклості (Convexity – CONV) визначається так (Jiao, Liu, 2012):

$$CONV = \frac{PERIM_c}{PERIM},$$

де PERIM – периметр поля; $PERIM_c$ – периметр описаного навколо поля випуклого полігону. Варіює у діапазоні від 0 до 1.

Індекс густини (Solidity – SOLI) визначається наступним чином (Jiao, Liu, 2012):

$$SOLI = \frac{AREA}{AREA_c},$$

де AREA – площа поля; $AREA_c$ – площа описаного навколо поля випуклого полігону. Варіює у діапазоні від 0 до 1.

Індекс відносної подовженості (Elongation – ELONG) визначається за формулою (Jiao, Liu, 2012):

$$ELONG = \frac{l_{max}}{l_{min}},$$

де l_{max} – довжина головної осі полігону (поля); l_{min} – довжина мінорної осі полігону (поля). Варіює від 1 до $+\infty$.

Індекс відповідності формі прямокутника (Rectangular fitting – RECT) (Jiao, Liu, 2012):

$$RECT = \frac{AREA}{l_{max} \times l_{min}},$$

де AREA – площа поля; l_{max} – довжина головної осі полігону (поля); l_{min} – довжина мінорної осі полігону (поля).

Індекс компактності (Compact – COMP) (Jiao, Liu, 2012):

$$COMP = \pi \sqrt{\frac{4 \times AREA}{\pi}} \frac{1}{PERIM_r},$$

де AREA – площа поля; $PERIM_r$ – периметр описаного навколо поля прямокутника. Варіює у діапазоні від 0 до 1.

Індекси форми GYRATE, PARA, SHAPE, FRAC, CIRCLE та CONTIG розраховані за допомогою програми FRAGSTATS (<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html/>), індекси AREA, PERIM, CONV, SOLI, ELONG, RECT, COMPACT та ORIENT – у програмі ArcGIS 10.4.1.

Були зроблені оцінки відповідності спостережуваних розподілів розмірів полів нормальному, експоненціальному, лог-нормальному законам, а також законам гамма, Вейбулла та Парето. Розрахунки проведені за допомогою функції *gofstat* бібліотеки *fitdistrplus* (Delignette-Mulle, Dutang, 2015) мови та середовища для статистичних розрахунків R (R Core Team, 2015). Бутстреп-процедура оцінювання параметрів розподілу Вейбулла та гамма-розподілу здійснена за допомогою функції *bootdist*.

Для приведення експериментальних даних до нормального закону розподілу для подальшого застосування трансформованих даних у регресійному аналізі було застосоване перетворення Бокса-Кокса (Box, Cox, 1964):

$$y_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{y_i^{(\lambda)} - 1}{\lambda} & \text{якщо } \lambda \neq 0 \\ \ln(y_i) & \text{якщо } \lambda = 0 \end{cases}$$

Результати трансформації суттєво залежать від обраного значення параметру λ . Для його обрання були застосовані методи Шапіро-Уїлка, Андерсона-Дарлінга, Крамера фон Мізеса, Пірсона χ^2 , Шапіро-Франца, Ліллієфорса, Жака-Бера, та метод штучної коваріати (Asar et al., 2014). Відповідні розрахунки проведені за допомогою функції *boxcox* бібліотеки AID (<https://cran.r-project.org/web/packages/AID/index.html/>).

Результати

У межах Васильківського району нами встановлені показники розміру та конфігурації 1359 полів (рис. 1). Площа сільськогосподарських полів у період проведення великомасштабного картографування у 50–60-і роки знаходилась у діапазоні від 1,20 до 269,00 га. Межі варіювання розміру полів за результатами даних дистанційного зондування Землі у наш час становлять 2,75–266,57 га. Площі полів у різні періоди (50–60-і роки та сучасність) сильно та статистично вірогідно корелюють ($r = 0,98$, $p = 0,00$). Це свідчить про високий рівень відповідності результатів, одержаних за допомогою класичних картографічних підходів (50–60-і роки) та результатів, одержаних за допомогою даних дистанційного зондування Землі (сучасність). Крім того, ця кореляція вказує на те, що принципових змін в організації землеустрою за останні півстоліття не відбулося.

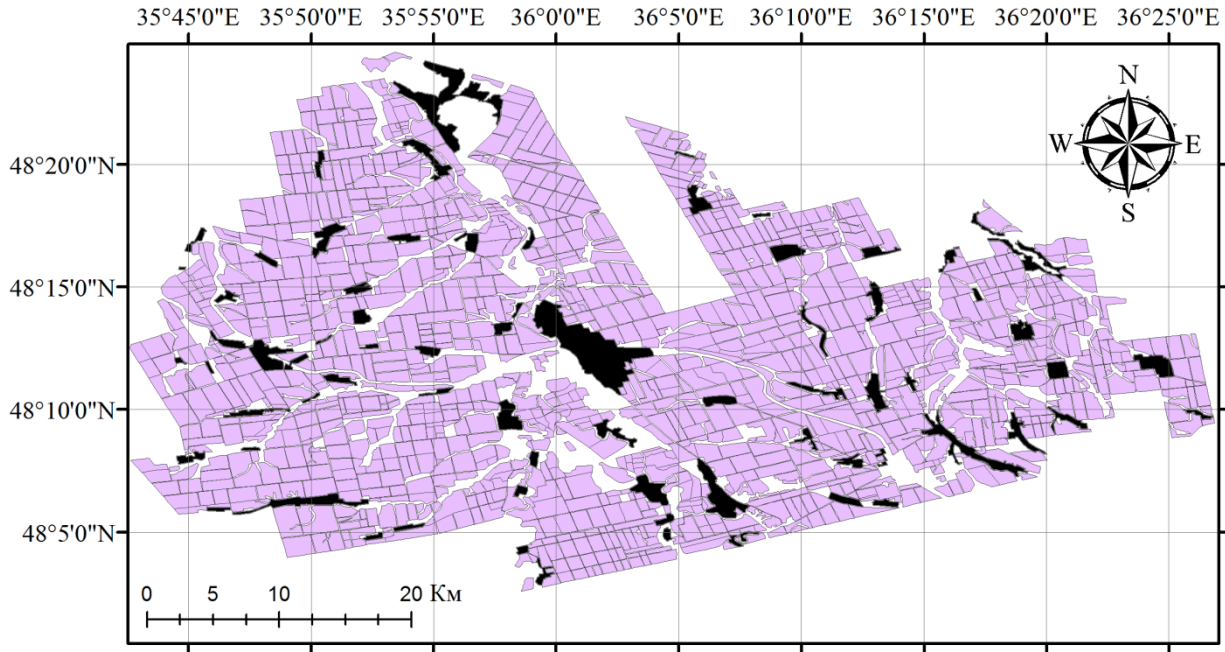


Рис. 1. Сільськогосподарські поля Васильківського району Дніпропетровської області. Темні полігони позначають населенні пункти.

Перед тим, як оцінити описові статистики розмірів полів, ми провели дослідження розподілу значень цього показника. Розподіли дуже подібні у різні періоди досліджень (статистика Колмогорова-Смірнова $d = 0,02$, $p = 0,82$), тому в подальшому нами наведені результати, які стосуються тільки періоду 50–60-х років (рис. 2).

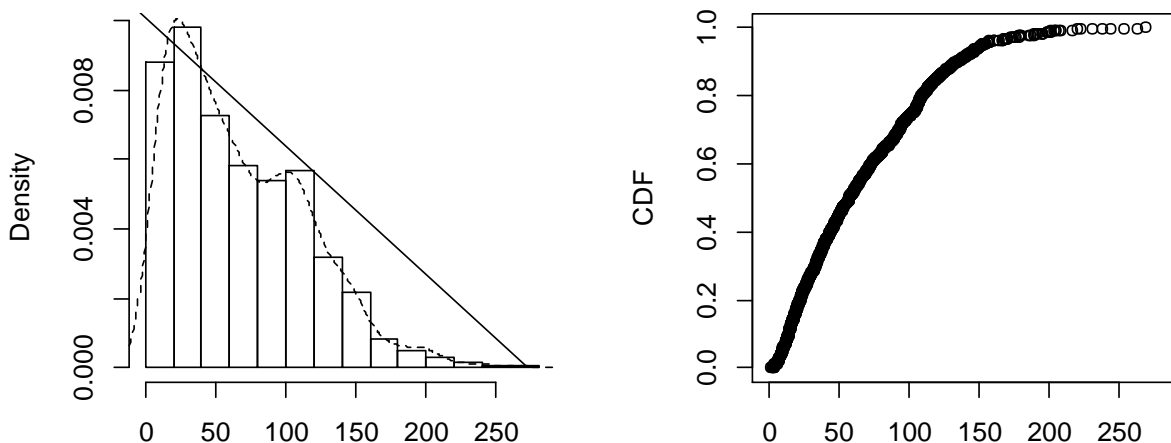


Рис. 2. Розподіл значень площі полів

Умовні позначки. вісь абсцис – площа полів (га); вісь ординат гістограми – густина спостережень (*Density*), CDF – інтегральна функція розподілу (*cumulative distribution function*)

Дослідження гістограми свідчить про те, що розподіл асиметричний та має два максимуми – абсолютний та локальний. Серед досліджених типів розподілу спостережувана змінна найкраще може бути описана законом Вейбулла або гамма-розподілом (табл. 1). Для гамма-розподілу трансформація до нормального закону розподілу може бути проведена за допомогою добування кореня квадратного. За критерієм Шапіро-Вілка оптимальним показником трансформації Бокса-Кокса для даних розмірів полів становить 0,37.

Таблиця 1. Статистики та критерії відповідностей площ полів законам розподілу

Методи або критерії	Законали розподілу					
	Нормальний	Експоненціальний	Вейбулла	Гамма	Лог-нормальний	Парето
Статистики відповідностей розподілам						
Колмогорова-Смірнова	0,10	0,10	0,05	0,06	0,08	0,10
Крамера фон Мізеса	3,86	5,87	0,83	1,03	2,69	5,85
Андерсона-Дарлінга	24,46	37,51	4,99	6,16	16,50	37,44
Критерії відповідностей розподілам						
Аїкаке	14387,96	14180,43	13960,60	13973,69	14119,52	14182,43
Байеса	14398,39	14185,65	13971,03	13984,12	14129,95	14192,86

Для асиметричного розподілу середнє арифметичне дає завищенні оцінки середнього генеральної сукупності (67,80 та 67,55 га для двох періодів відповідно) (табл. 2). Середнє геометричне дає суттєво менші оцінки (49,43 та 49,76 га відповідно). Оцінки середнього після зворотного перетворення середнього арифметичного перетворених за Боксом-Коксом даних дає значення, наближені до медіанних значень. Таким чином, найкращою оцінкою середнього розміру полів є 56,48 га для періоду 50–60-х років та 56,57 га для теперішнього часу.

Таблиця 2. Описові статистики площ полів

Період	Кількість полів	Середнє арифметичне	Середнє геометричне	Медіана	Оцінки після зворотного перетворення Бокса-Кокса		Мінімум	Максимум
					Середнє	Довірчий інтервал -95 % + 95 %		
50–60-і роки	1359	67,80	49,43	57,40	56,48	54,11 58,92	1,20	269,00
Теперішній час	1359	67,55	49,76	57,09	56,57	54,23 58,97	2,75	266,57

Розміри полів у теперішній час пов'язані з розмірами полів у 50–60-і роки лінійною регресією виду (рис. 3):

$$Y = 0,48 \pm 0,07 + 0,95 \pm 0,007 \cdot X,$$

де Y – площа полів у теперішній час (трансформовані данні за Боксом-Коксом), X – площа полів у 50–60-і роки (трансформовані данні за Боксом-Коксом). Регресійні коефіцієнти статистично вірогідні (p для обох значно $< 0,001$). Модель описує 92,9 % дисперсії.

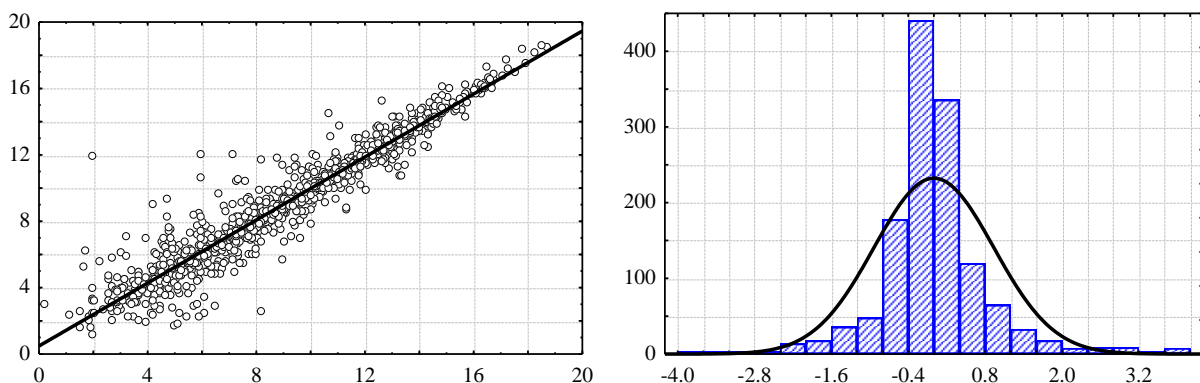


Рис. 3. Залежність розмірів полів у теперішній час від розмірів у 50–60-ті роки. Зліва – діаграма розсіювання, справа – гістограма залишків регресійної моделі.

На основі значень залишків регресійної моделі були створено дві змінні, кожна з яких приймає значення 0 або 1. Перша змінна є маркером того, що реальне значення площі полів відхиляється від прогнозованого у бік збільшення більше,

ніж одне середнє квадратичне відхилення. У цьому випадку змінна приймає значення 1, при альтернативі (суттєве відхилення відсутнє) – приймає значення 0. Друга змінна є маркером того, що реальне значення менше прогнозованого на значення, яке за модулем переважає середнє квадратичне відхилення. Відповідно, у цьому випадку ця змінна приймає значення 1, а за умов альтернативи – 0. Ці змінні застосовані для проведення логістичної регресії. Поряд з таким важливим показником розміру поля, як його площа, нами розглянуті додаткові показники розміру та форми (табл. 3).

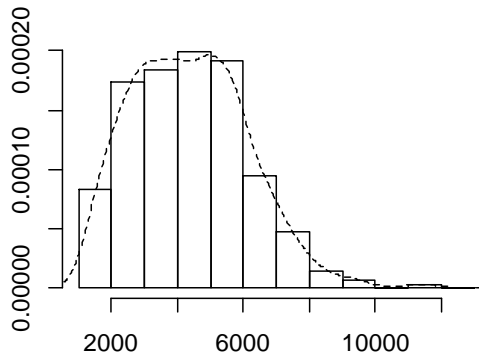
Таблиця 3. Описові статистики метрик розмірів та форми полів

Метрики	Середнє	Довірчий інтервал		Медіана	Мінім ум	Максим ум	Асиметрія	Ексцес
		-95 %	-95 %					
<i>Розмірів</i>								
PERIM	4,39±0,048	4,29	4,48	4,26	1,08	12,06	0,53±0,07	0,38±0,13
GYR	0,34±0,004	0,33	0,34	0,33	0,08	0,88	0,30±0,07	-0,30±0,13
<i>Форми</i>								
PARA	95,85±2,51	90,92	100,77	75,95	32,71	1333,33	9,51±0,07	119,74±0,13
SHAPE	1,42±0,006	1,41	1,43	1,37	1,10	3,00	2,17±0,07	8,42±0,13
FRAC	1,05±0,001	1,05	1,06	1,05	1,02	1,17	1,31±0,07	2,73±0,13
CIRCLE	0,57±0,003	0,56	0,58	0,56	0,29	0,93	0,25±0,07	-0,68±0,13
CONTIG	0,92±0,001	0,92	0,92	0,93	0,62	0,97	-1,86±0,07	4,92±0,13
CONV	0,79±0,0016	0,787	0,793	0,79	0,44	0,98	-1,47±0,07	6,11±0,13
SOLI	0,93±0,0022	0,93	0,94	0,97	0,31	1,00	-2,47±0,07	9,41±0,13
ELONG	2,30±0,0263	2,24	2,35	2,01	1,16	8,61	2,30±0,07	7,87±0,13
RECT	0,70±0,0036	0,70	0,71	0,71	0,21	0,97	-0,23±0,07	-0,48±0,13
COMP	0,80±0,0022	0,79	0,80	0,82	0,39	0,93	-1,17±0,07	1,65±0,13

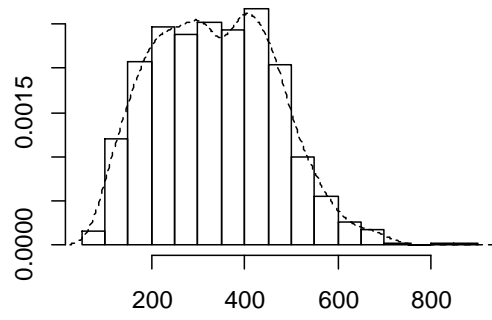
Периметр полів у середньому складає 4,39 км та варіює у межах від 1,08 до 12,06 км. Розподіл цього показнику асиметричний зі зсувом уліво та позитивним ексцесом, що свідчить про тяжіння показників до модальних значень (рис. 4). Радіус обертання полів становить 337,29 м з варіюванням у межах від 81,88 до 883,63 м. Розподіл асиметричний, але з від'ємним ексцесом, що свідчить про двовершинність розподілу. Сильно асиметричний розподіл значень властивий для відношення периметру поля до його площі. Логарифм площі поля та показник PARA закономірно пов'язані негативним кореляційним зв'язком ($r = -0,53$; $p = 0,00$), що відбиває властивість PARA змінюватися разом з розміром при незмінній формі, що робить його не досить довершеним показником форми. Індекс форми SHAPE характеризується асиметричним розподілом з позитивною асиметрією. Він варіює від 1,10 до 3,00. Таким чином, жодне поле не має ідеальної квадратної форми, хоча певна кількість має форму досить наближену до прямокутної. Також слід відзначити, що незначна кількість полів має дуже складну форму. Кореляція з розмірами поля індексу SHAPE незначна ($r = -0,05$; $p = 0,06$), що свідчить про те, що основна частина варіації цього показнику обумовлена саме формою, а не розмірами полів. Індекс фрактальної розмірності характеризується дещо меншою асиметрією та ексцесом, ніж попередній показник форми. Фрактальна розмірність полів варіює у межах від 1,02 до 1,17. Закономірно, що переважна більшість полів мають досить просту форму периметру, що віддзеркалюється значеннями індексу фрактальності, наближеними до одиниці. Індеси форми PARA та FRAC сильно між собою скорельовані ($r = 0,97$; $p = 0,00$).

Індекс циркулярності характеризується низькою асиметрією та наявністю двох локальних максимумів своїх значень. Цей показник варіює у межах від 0,29 до 0,93. Закономірно, що поля переважно прямокутної форми характеризуються значеннями циркулярності значно більшими нуля. Але важливо наближення значень циркулярності до одиниці, що позначає подовжені та звивисті форми полів. Ця звивистість є результатом заповнення полем особливостей рельєфу для збереження максимальної вирівняності поверхні поля. Також звивистість може виникати як результат ерозійного розчленування поверхні поля, яке на початкову мало відносно правильну форму. Для цього індексу форми характерна статистично вірогідна зворотна кореляція з розміром поля ($r = -0,19$; $p = 0,00$).

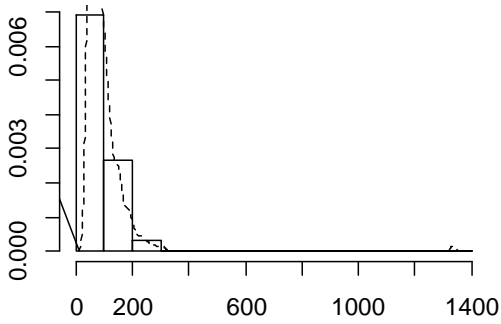
Індекс цілісності CONTIG характеризується асиметричним розподілом зі зсувом у праву частину. Це свідчить про те, що поля переважно мають суцільну конфігурацію. Але для певної кількості полів можна встановити наявність дизруптивності, або розірваності. Безумовно, звичайні поля характеризуються високими показниками індексу CONTIG. Розірваність форми поля є результатом або адаптації конфігурації поля до пересіченої місцевості, або є наслідком трансформації форми поля у часі внаслідок антропогенних процесів або ерозійних явищ, які також можуть мати антропогенну компоненту в своїй генезі. Індекс цілісності CONTIG сильно корелює з розміром поля ($r = 0,92$; $p = 0,00$). Це свідчить про те, що великі поля мають суцільну конфігурацію, а маленькі за розміром можуть демонструвати значну варіабельність своєї цілісності. Це досить природно, так як великі за розміром поля займають плакорні позиції з вирівненим рельєфом, що дозволяє закладати поля з формою, наближеною до прямокутника. По мірі наближення до долин або балок розмір полів зменшується, а їх форма стає більш віддаленою від форми правильних прямокутників. На практиці це виглядає так, що поля на граничних позиціях мають переважно трикутну форму. У такого поля два боки прямі, а третій бік має нерівну форму, яка повторює ізолінію з критичною кривизною рельєфу, яка відрізає границю, де ще можна розміщати сільськогосподарські рослини.



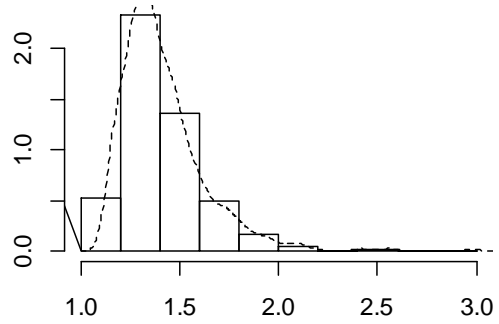
PERIM



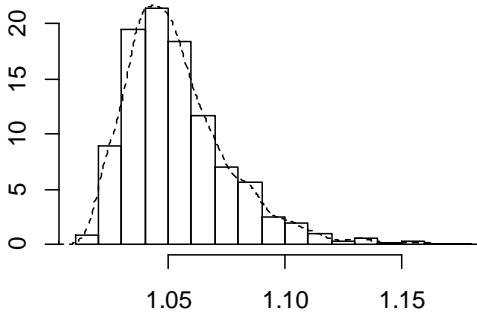
GYRATE



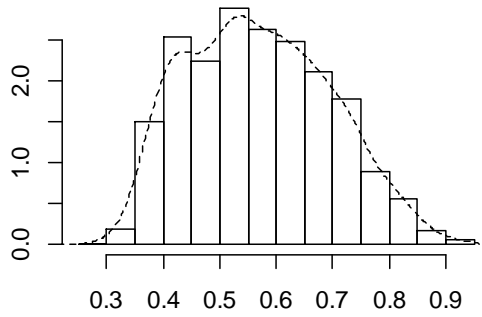
SHAPE



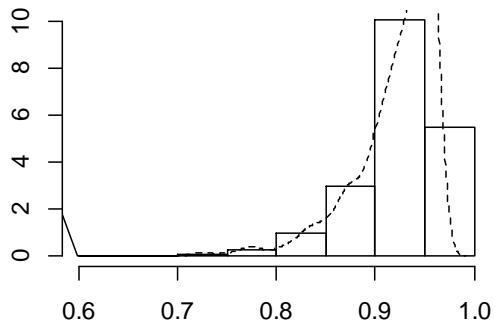
PARA



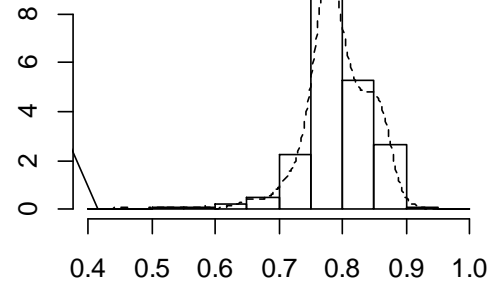
FRAC



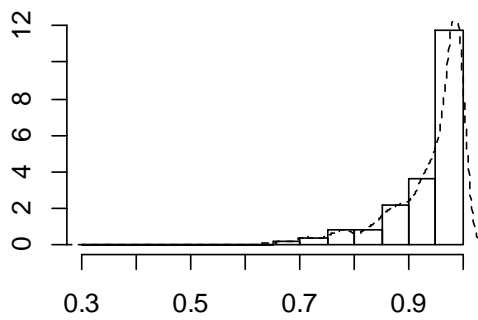
CIRCLE



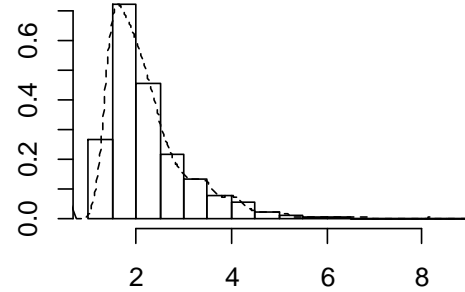
CONTIG



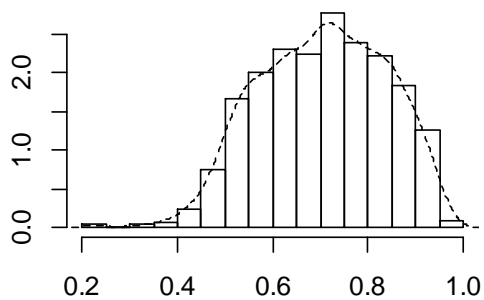
CONV



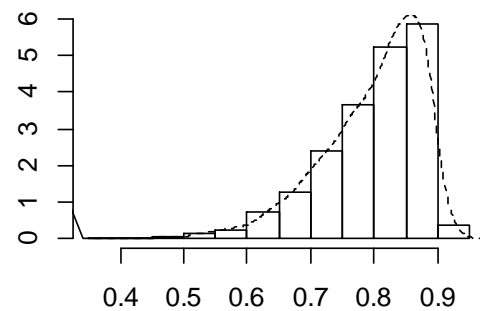
SOLI



ELONG



RECT



COMP

Рис. 4. Гістограми розподілу метрик розміру та форми полів

Для описання гістограм розподілу параметрів форми та розміру полів серед розглянутих законів найбільш придатними є розподіли Вейбулла та гамма-розподіл (табл. 4). Розподіли характеризуються значним різноманіттям оцінок параметрів форми та масштабу. Слід відзначити, що розподіли Вейбулла та гамма є генералізаціями експоненціального розподілу. За умови параметру форми = 1 розподіл Вейбулла повністю відповідає експоненціальному розподілу.

Таблиця 4. Бутстреп-оцінки параметрів розподілів метрик розмірів та форми полів та λ для перетворення Бокса-Кокса

Метрики	Параметри	Вейбулла			Гамма			λ	
		Медіана	2,50%	97,50%	Медіана	2,50%	97,50%		
			Розміру						
AREA	Форми	1,42	1,36	1,48	1,73	1,62	1,86	0,37	
	Масштабу	74,52	71,75	77,57	0,03	0,02	0,03		
PERIM	Форми	2,64	2,54	2,75	5,71	5,29	6,17	0,51	
	Масштабу	4,94	4,83	5,05	1,30	1,21	1,41		
GYRATE	Форми	2,80	2,69	2,91	6,05	5,61	6,51	0,65	
	Масштабу	379,55	371,82	386,68	0,0179	0,0166	0,0194		
			Форми						
PARA	Форми	1,43	1,37	1,49	3,26	3,04	3,48	-0,66	
	Масштабу	106,85	102,76	110,90	0,034	0,032	0,037		
SHAPE	Форми	5,16	4,95	5,36	46,83	43,59	50,22	-2,74	
	Масштабу	1,52	1,50	1,54	33,00	30,65	35,39		
FRAC	Форми	35,96	34,45	37,48	2218,68	2069,15	2392,94	-18,48	
	Масштабу	1,07	1,06	1,07	2104,51	1964,13	2268,44		
CIRCLE	Форми	4,93	4,74	5,15	20,26	18,85	21,81	0,40	
	Масштабу	0,62	0,61	0,63	35,53	32,95	38,42		
CONTIG	Форми	34,24	32,83	35,69	447,83	413,79	480,44	18,00	
	Масштабу	0,94	0,94	0,94	486,13	449,95	521,22		
CONV	Форми	35,80	34,52	37,17	2244,09	2092,95	2380,97	4,33	
	Масштабу	1,07	1,06	1,07	2129,36	1986,15	2257,64		
SOLI	Форми	5,14	5,00	5,39	47,08	43,26	51,38	15,67	
	Масштабу	1,52	1,50	1,54	33,12	30,42	36,15		
LONG	Форми	1,42	1,36	1,46	3,29	3,12	3,47	-1,15	
	Масштабу	106,89	102,65	111,56	0,03	0,03	0,04		
RECT	Форми	2,80	2,68	2,91	6,07	5,57	6,53	1,37	
	Масштабу	0,38	0,37	0,39	17,83	16,65	19,51		
COMP	Форми	2,64	2,55	2,74	5,74	5,44	6,09	5,5	
	Масштабу	4,95	4,86	5,04	1,31	1,23	1,40		

Таблиця 5. Результати факторного та дискримінантного аналізів параметрів форми та розмірів полів

Змінні	Багатовимірні фактори			Дискримінантні функції			
	1	2	3	1	2	3	4
Area	0,44	0,87	-0,01	0,79	0,36	0,13	-0,18
PERIM	0,09	0,98	-0,07	0,51	0,60	0,23	-0,35
GYR	0,15	0,95	0,14	0,59	0,60	0,17	-0,21
PARA	-0,53	-0,43	0,03	-0,24	0,02	-0,32	-0,15
SHAPE	-0,87	0,40	-0,10	-0,20	0,70	0,00	-0,28
FRAC	-0,95	0,21	-0,07	-0,33	0,68	-0,16	-0,19
CIRCLE	-0,84	0,21	0,35	-0,26	0,66	-0,21	0,35
CONTIG	0,66	0,67	-0,03	0,65	0,03	0,53	0,37
CONV	0,36	-0,36	0,57	0,03	-0,22	-0,13	0,20
SOLI	0,69	-0,19	0,51	0,14	-0,32	0,05	0,27
ELONG	-0,59	0,21	0,75	-0,11	0,37	-0,10	0,15
RECT	0,42	0,06	0,73	0,11	-0,09	0,09	0,22
COMP	0,90	-0,22	-0,29	0,27	-0,71	0,24	-0,13

Параметри форми та розмірів полів значно скорельовані. Тому для встановлення головних трендів варіювання форми та розмірів полів, а також для одержання немультіколінеарних змінних для проведення регресійного аналізу, нами

проведений багатовимірний факторний аналіз. Багатовимірний факторний аналіз метрик розмірів та форми полів дозволив встановити, що перші три фактори, власні числа яких перевищують одиницю, описують 83,25 % загальної варіабельності простору ознак (40,27, 28,21 та 14,76 % відповідно). Аналіз розміщення метрик у просторі перших двох факторів свідчить про те, що в основі варіювання дослідженої множини ознак, знаходиться три причини (табл. 5).

Перший та третій фактори можна інтерпретувати як такі, що відображають особливості форми полів, а другий – як такий, що відображає розміри. Слід відзначити, одержані фактори є ортогональними, тобто незалежні між собою. Фактор 1, чутливий до форми полів, також залежить від розмірів полів. Цей фактор віддзеркалює аспект варіювання форми, пов'язаний зі зміною розмірів поля. У свою чергу, фактор 3 показує аспекти варіювання форми полів, які є інваріантними щодо їх розмірів. Позитивні значення фактору 1 вказують на тенденцію збільшення розмірів полів та спрощення їх форми, тобто таку ситуацію, коли більш великі за розміром поля як правило мають форму, найбільш наближену до прямокутної. Від'ємні значення фактору 1 характеризують малі за площею поля, які можуть мати більш складну форму, що наближає їх до форми природних типів ландшафтного покриття.

Уздовж фактора 2 упорядковуються великі (позитивні значення фактора) та маленькі (негативні значення фактора) поля. Варіювання розмірів, які віддзеркалюються фактором 2, також пов'язані з певними трендами зміни форми полів. Цей фактор вказує на те, що зі збільшенням розмірів полів вірогідне певне відхилення форми від геометрично довершеної форми прямокутника, внаслідок чого спостерігається погоджене збільшення розмірів полів та деяких показників складності форми (SHAPE, FRAC, CIRCLE, CONTIG) а також подовженості (ELONG) полів.

Фактор 3 позитивними значеннями маркує більш прості по формі поля, а негативними – поля складної форми. Важним аспектом структурування сільськогосподарського ландшафту є розташування населених пунктів та, відповідно, відстань полів від них. Поля знаходяться на мінімальній дистанції від населених пунктів у діапазоні 0–4668 м. У середньому цей показник становить 1249,19 м. Нами встановлено, що показники розмірів та форми сільськогосподарських полів закономірно змінюються у залежності від дистанції від населених пунктів (рис. 5).

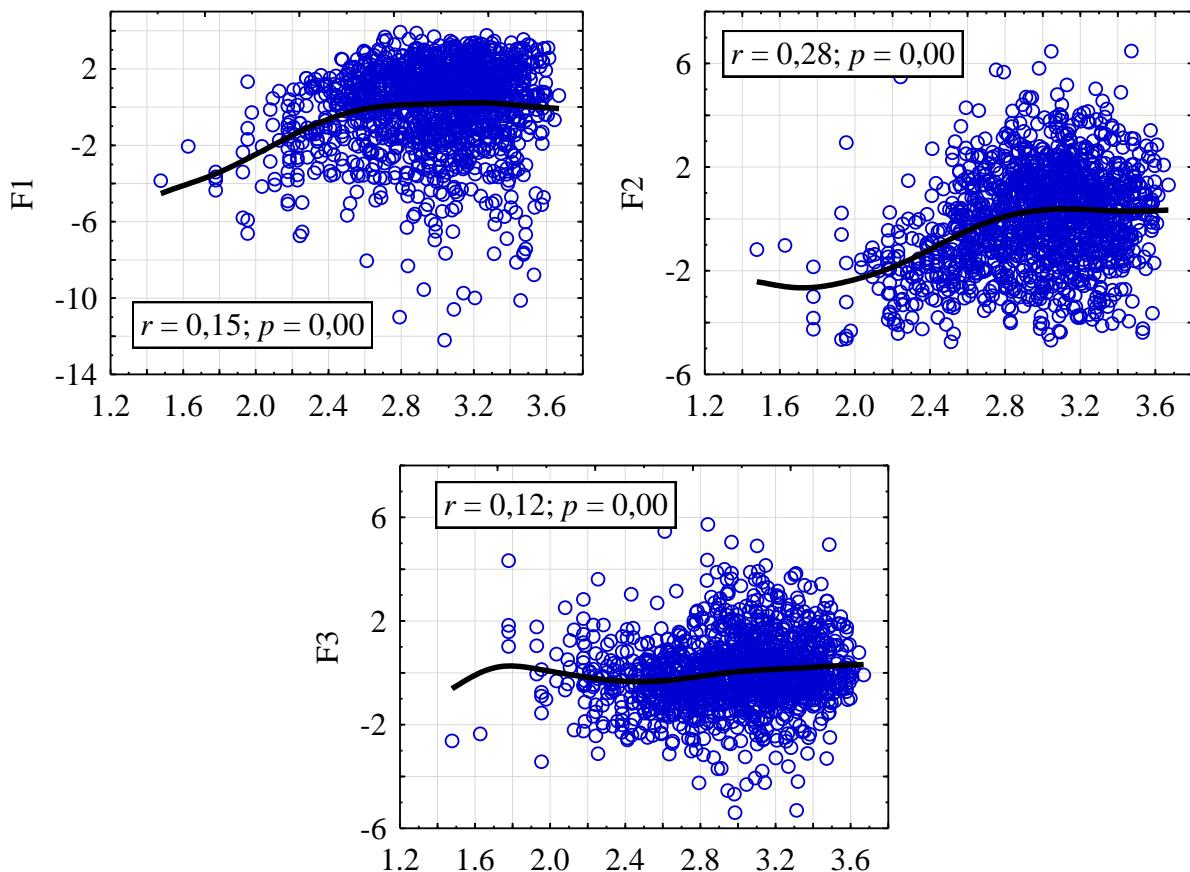


Рис. 5. Залежність параметрів розміру та форми полів від найближчої дистанції від населених пунктів

Цей зв'язок має нелінійний характер, хоча загальний тренд залежності у переважній більшості може бути підтверджений лінійним коефіцієнтом кореляції Пірсона. Фактори 1 та 2, які залежать від розміру полів, вказують на те, що більш великі поля розташовані на певній відстані від найближчого населеного пункту. Відповідна залежність може бути позначена як сигмоподібна. У діапазонів дистанцій від нуля до орієнтовно 1000 м середні розміри полів монотонно збільшуються. На більших дистанціях максимальні граничні розміри полів не змінюються, але збільшується нижня мінімальна границя розміру полів.

Показники форми також залежать від дистанції від найближчого населеного пункту. Так як всі показники форми більшими значеннями позначають більш складну за різними аспектами форму полів, то можна стверджувати, що найбільш різноманітні та складні за формою поля знаходяться на меншій відстані від населених пунктів, тоді як на більшій відстані розташовані поля які мають форму, найбільш наближену до правильної прямокутної.

Тенденція до збільшення розмірів полів властива для тих з них, які характеризуються меншими значеннями фактору 1 (малі за площею поля, які можуть мати більш складну форму), більшими значеннями фактору 2 (великі поля) та малими значеннями фактору 3 (поля складної форми) (рис. 6).

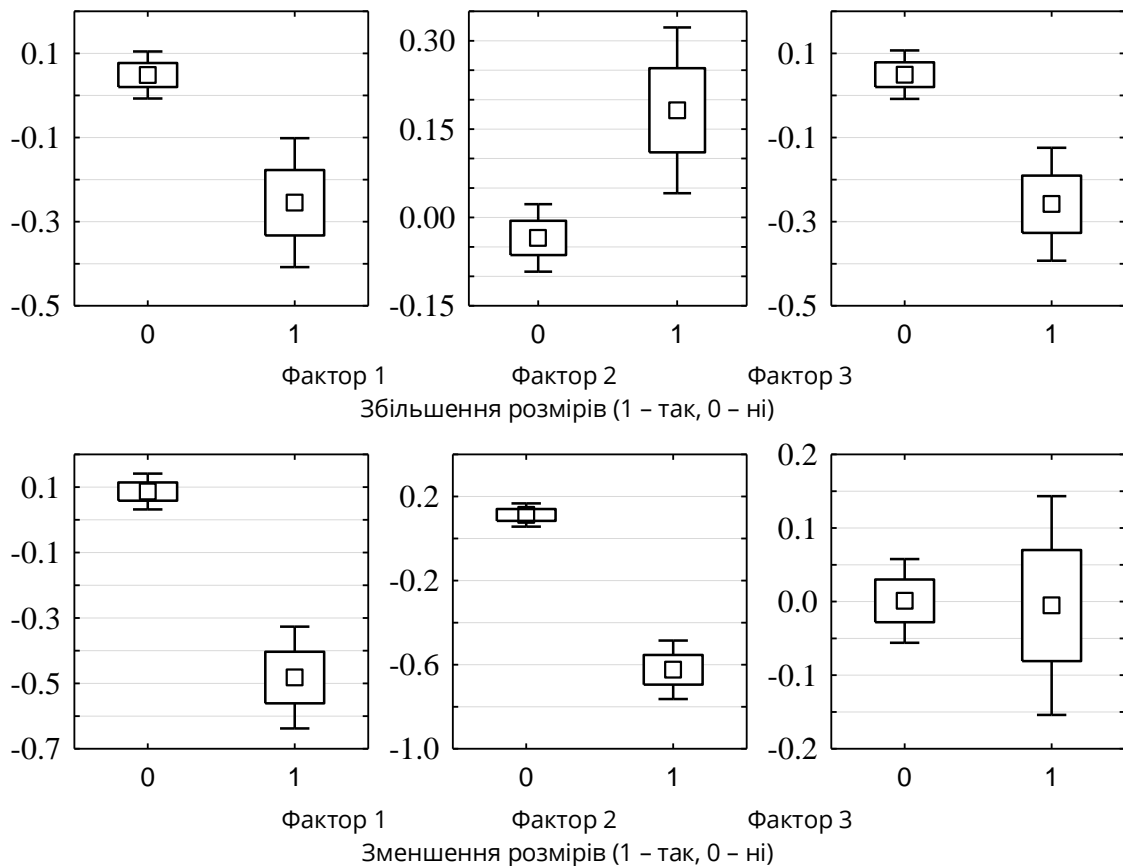


Рис. 6. Значення маркерів розміру (фактор F2) та форми (фактори F1 та F3) для полів, які демонструють тенденцію до збільшення або зменшення площі

Тенденція до зменшення розмірів полів властива для тих з них, які характеризуються меншими значеннями фактору 1 (малі за площею поля, які можуть мати більш складну форму), меншими значеннями фактору 2 (малі поля). За значеннями фактору 3 відмінностей полів з потенціалом зменшення площі від інших полів не встановлено.

Таблиця 6. Результати логістичного регресійного аналізу залежності відхилень розмірів полів від їх форми, розмірів та відстані від населених пунктів

Змінні	Збільшення			Зменшення		
	Оцінка регресійного коефіцієнту	Статистика Вальда	<i>p</i> -рівень	Оцінка регресійного коефіцієнту	Статистика Вальда	<i>p</i> -рівень
Констант						
a	-1,42±0,58	5,93	0,01	-0,51±0,69	0,54	0,46
Log_Dist	1,08±0,20	29,14	0,00	0,87±0,24	13,50	0,00
F1	-1,73±0,51	11,43	0,00	-0,65±0,54	1,50	0,22
F2	0,52±0,49	1,13	0,29	-1,40±0,57	6,03	0,01
F3	0,34±0,56	0,36	0,55	-0,11±0,50	0,05	0,83
F1 ²	-0,01±0,07	0,03	0,85	0,16±0,09	3,63	0,05
F2 ²	0,02±0,07	0,12	0,73	-0,11±0,07	2,56	0,11
F3 ²	0,29±0,08	13,92	0,00	-0,16±0,07	5,07	0,02
Dist ²	0,14±0,12	1,33	0,25	0,22±0,14	2,49	0,11
F1*Dist	1,98±0,51	15,32	0,00	1,06±0,53	3,98	0,05
F2*Dist	-0,89±0,50	3,15	0,08	2,21±0,58	14,54	0,00
F3*Dist	-0,13±0,55	0,06	0,81	0,00±0,51	0,00	1,00

Примітка: напівжирним позначені предиктори вірогідні для $p < 0,05$; курсивом – вірогідні для $p < 0,10$

Одержані результати свідчать про те, що явища збільшення та зменшення розмірів полів у процесі сільськогосподарського виробництва визначаються різними чинниками. Спільною особливістю є те, що мінливість розмірів полів (як збільшення, так і зменшення) знижується при віддаленні від населених пунктів ($F=13,71$, $p=0,00$ та $F=24,19$, $p=0,00$), але у рамках регресійної моделі встановлено, що за умов збільшення дистанції від найближчого населеного пункту тенденції до зміни площі полів зростають (табл. 1). Очевидно, що з відстанню від населених пунктів пов'язане варіювання характеристик форми та розмірів полів, внаслідок чого при урахуванні особливостей полів оцінка впливу відстані до найближчого населеного пункту на тенденцію зміни розміру поля змінюється на протилежну.

Тенденція до збільшення розмірів поля крім відстані до найближчого населеного пункту (Log_Dist) пов'язана з фактором 1 (форма полів), залежності форми полів від відстані ($F1*Dist$) та нелінійної компоненти варіювання фактора 3 ($F3^2$).

За показниками параметрів розмірів та форми поля було кластеризовано на 9 кластерів за допомогою EM-процедури. Для встановлення співвідношення між кластерами та визначення ролі показників форми та розмірів у характеристиці кластерів проведений дискримінантний аналіз. Розташування кластерів у просторі перших чотирьох дискримінантних функцій представлено на рис. 7.

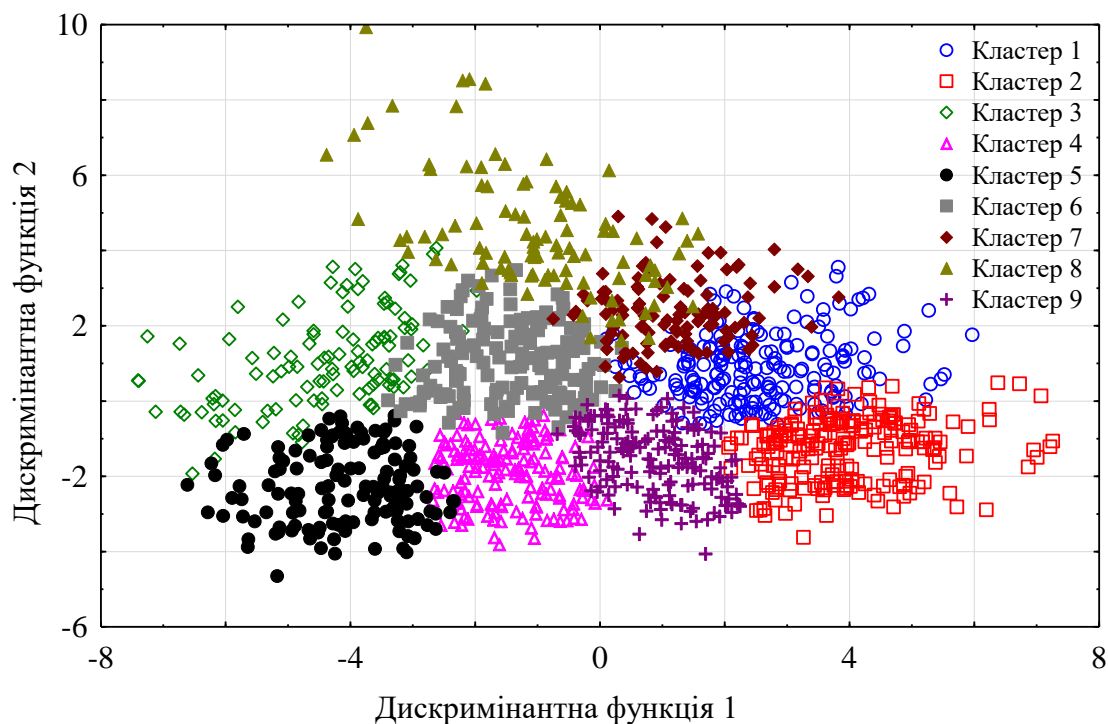
Дискримінантна функція 1 показує відмінності між кластерами, які пов'язані з розмірами полів та у деякій мірі – з їх формою. Кластери 2, 9, 4 та 5 формують послідовність типів полів у порядку зменшення їх площі. Дискримінантна функція 2 більшою мірою чутлива до варіювання показників форми. Кластери 1, 7, 6 та 3 формують ще одну послідовність типів полів також у порядку зменшення їх розмірів, але на відміну від попереднього ряду ці кластери характеризуються більшим різноманіттям своєї форми. Найбільш різноманітними за формою є поля кластера 8. Ці поля середні за розміром.

Дискримінантна функція 3 найбільш чутлива до такої характеристики, як цілісність форми поля, а дискримінантна функція 4 – до цілісності та циркулярності форми полів.

Кластери полів як категоріальні змінні можуть бути співставлені з типами динаміки полів засобами аналізу відповідностей (рис. 8). Одержані результати свідчать про те, що динаміка зростання розмірів характерна для полів кластерів 1, 6 та 8. У свою чергу, динаміка зменшення характерна для полів кластеру 3 та у меншій мірою – кластерів 4 та 5. Поля кластерів 2, 7 та 9 найбільш схильні до стабільності своєї площі.

Результати аналізу відповідностей дозволяють дещо інакше подивитися на результати дискримінантного аналізу. Дискримінантна функція 2 чітко розділяє кластери, які стійкі у часі від кластерів, яку демонструють схильність до збільшення або зменшення своєї площі. Кластери 2, 4, 5, 9, які формують основу піраміди (рис. 7, А) представляють стабільну компоненту сукупності полів. Інші кластери, за винятком кластеру 7, характеризуються динамічністю своїх розмірів.

Тенденції до збільшення розмірів представлені кластерами, які воліють до позитивних значень дискримінантної функції 1, а до зменшення – до негативних значень, якщо вони знаходяться у області позитивних значень дискримінантної функції 2.



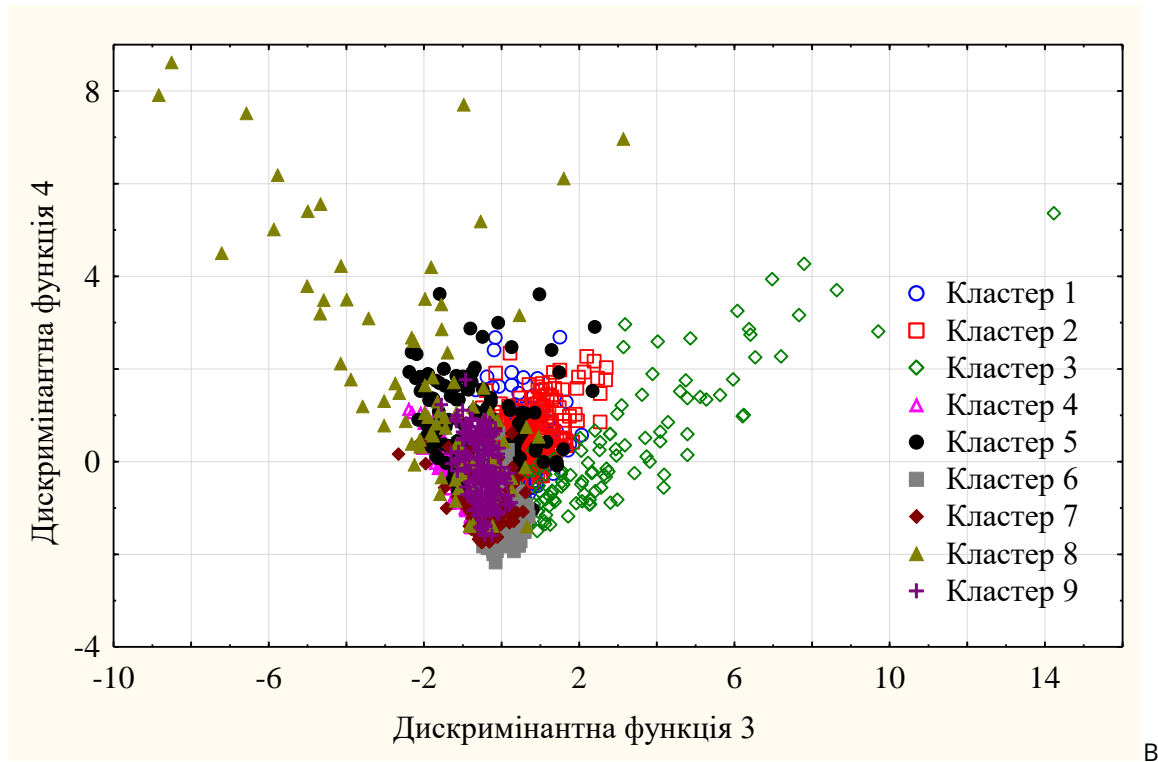


Рис. 7. Розташування кластерів у просторі дискримінантних функцій

Дискримінантні функції деталізують особливості форми та розмірів полів, а також характеризуються певною чутливістю до динамічних особливостей полів. Так, функція 3 чітко диференціює кластер 8 (зростання розмірів) від кластера 3 (зменшення розмірів).

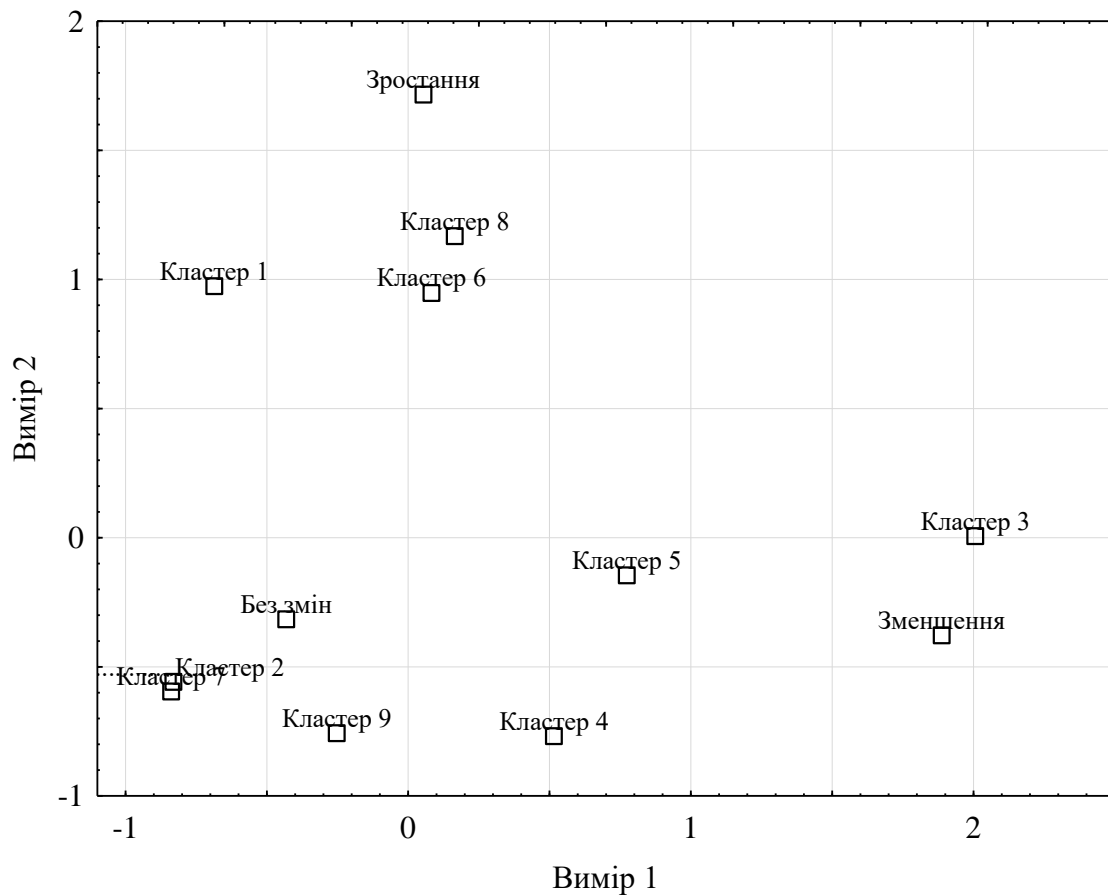


Рис. 8. Аналіз відповідностей кластерів та тенденцій змін розмірів полів

Обговорення

Площа Васильківського району Дніпропетровської області складає 131,01 тис. га, з яких 118,49 тис. га або 89,09 % складають сільськогосподарські угіддя. Сільськогосподарські угіддя включають рілля, багаторічні насадження (сади, виноградники), перелogi, сіножаті та пасовища (Сулин, 2005). У межах досліджених сільськогосподарських полів переважно представлена рілля. Загальна площа сільськогосподарських полів склала у межах району 92,42 тис. га (69,48 % від загальної площі та 77,99 % від площі сільськогосподарських угідь). Значна площа сільськогосподарських угідь робить них значним фактором просторової організації ландшафтного покриву в умовах степової зони України. Кожне поле обмежене границею, яка представлено різними типами покриву: шляхи (з ґрунтовим або асфальтним покриттям), штучні лісові насадження, або трав'янисті насадження (похідні рослинні угруповання степового, лугового, болотного типів). Границі полів за екологічними умовами суттєво відрізняються від власне сільськогосподарських полів. Вони можуть бути рефугіумами біологічного різноманіття (Marshall, Moonen, 2002). Відносна протяжність границь залежить від розмірів та форми полів. Збільшення межі з природними угіддями може позитивно впливати на продуктивність сільськогосподарських культур, рівень біологічного контролю шкідників, регуляцію водного режиму та захист від ерозійної деградації ґрунтів (Kuchma, 2015).

Як вважає В.С. Зибалов (2014), в екологізованому землеробстві розмір поля в 100–200 га повинен бути нормою, тому що за таких розмірів підвищується загальне біологічне різноманіття агроєкосистеми, формуються системи корисних симбіотичних зв'язків та стає можливим більш раціонально використовувати структуру посівних площ (Zybalov, 2014). Збільшення розмірів поля зменшує питому границю при постійній формі, а ускладнення форми поля – збільшує цей показник. Бонітет поля з точки зору економічності його обробітку навпаки зростає при збільшенні загального розміру поля та наближенні його до геометрично ідеальної прямокутної форми. Ніякого погіршення бонітету поля не спостерігається, якщо довжина гону поля переважає 600 м (Medvedev, Plysko, 2006). У регіоні такі поля за кількістю складають 76,53 %. До сприятливого класу належать поля з довжиною гону 400–600 м. У регіоні таких 21,12 %. Поля з довжиною гону менше 400 належать до класів бонітету «задовільні», «несприятливі» та «дуже несприятливі». Відповідно, таких полів 2,35 % від загальної кількості. Криволінійність сторін поля також знижує його бонітет унаслідок того, що для його обробітку можна здійснити тільки за допомогою частково криволінійного ходу агрегату (Medvedev, Plysko, 2006).

Аналіз за допомогою програми FRAGSTATS дозволяє розрахувати широкий спектр статистик, які кількісно характеризують різні просторові аспекти організації ландшафтно-екологічного покриву, які певною мірою є досить інтуїтивно наочними (Tinker et al., 2003). Нами також форма полів оцінена за допомогою додаткових показників, таких як випуклість, густина, відносна подовженість, відповідність формі прямокутника, компактність. Хоч індекси, які можна одержати, значною мірою скорельовані, але кожен з них здійснює унікальний внесок для інтерпретації різноманітних просторових патернів (Garrabou et al., 1998). Оскільки природні території в агроландшафтах зазвичай мають складну форму, на відміну від антропогенних об'єктів, таких як забудова, дороги, об'єкти інфраструктури, то збільшення площі природних угідь зумовлює збільшення значень індексів форми ландшафту (Кучма, 2015).

Площа, форма та взаємне розташування полів є результатом землеустрійних робіт як певний компроміс між потребами виробництва та ландшафтно-екологічною обстановкою території. Одиницею управління у сільському господарстві є поле (або робоча ділянка), у межах якого повинні бути максимально однорідні умови для застосування однотипних технологічних інструментів вирощування сільськогосподарських культур (Sulin, 2005). Розподіл площ полів у районі не описується нормальним законом, тому неможна стверджувати, що розмір полів є результатом випадкового процесу. Оцінка закону розподілу також необхідна для оцінки можливості застосування параметричних процедур аналізу даних (Puzachenko, 2004). Для приведення до розподілу, найбільш наближеного до нормального закону, нами застосована трансформація Бокса-Кокса (Zhukov et al., 2016).

Форма та розмір поля з одного боку, є досить констанними ознаками, а з іншого боку, зазнають протягом часу певних змін. Кадастрові характеристики полів було порівняно з площею, яка встановлена на основі оцінки площі полів відповідно до їх сучасної конфігурації на основі аналізу супутникових знімків високої роздільної здатності. Порівняльний аналіз підтверджує високий рівень відповідності кількісних характеристик полів, які одержані з інтервалом поні пів століття. Між показниками за різні часи існує статистично вірогідна лінійна регресійна залежність. Але встановлені відмінності у розмірі деяких полів як у бік збільшення, так і у бік зменшення.

Нами висунуто гіпотезу, відповідно до якої тенденція зміни розміру поля у часі залежать від форми та розміру поля, а також те, що тенденція до збільшення та тенденція до зменшення розміру визначаються різними причинами.

Збільшення розміру поля у наслідок спонтанних або природних причин може виникати як результат пріорювання лісових насаджень, границь поля з трав'янистим покривом, або ґрунтових доріг до поля. У 1960–1970-ті роки пріорювання лісових смуг заохочувалась, так як вела до збільшення площі ріллі (Zybalov, 2014). Суттєве збільшення розміру поля можливе за рахунок оранки нових ділянок, але за умов майже тотальної розораності території такий механізм збільшення майже виключений. Зменшення розмірів поля можливе за рахунок розростання лісових смуг, розширення ґрунтових доріг або за рахунок розвитку ерозійних процесів. Як правило, останній механізм пов'язаний також з суттєвою зміною форми полів у наслідок розвитку ритвин.

Інтенсивність та систематичність процесів, які призводять до змін розмірів сільськогосподарських полів мають як антропогенну, так і природну компоненти. Інформаційно ємним індикатором антропогенної компоненти є відстань до найближчого населеного пункту, хоча у цьому індикаторі у латентному вигляді представлена і природна компонента. Справа у тому, що населені пункти, як правило, започатковувались у місцях з наявністю джерел води, які знаходяться у відносно понижених ділянках рельєфу. Відповідно до цього, перерозподіл вологи, переважаючі ухили рельєфу та,

відповідно, ризики ерозійних процесів, синхронизовані з відстанню до найближчого населеного пункту. Безумовно, по мірі наближення до населених пунктів збільшується інтенсивність антропогенних чинників. Багатомірні фактори варіювання форми та розміру полів демонструють закономірну залежність зміни своїх значень у залежності від дистанції до найближчого населеного пункту. Більш великі за розміром поля звичайно розташовані на плакорі. Цим пояснюється негативний зв'язок між відстанню до населеного пункту та розміром поля. Ближче до населених пунктів, або до доріг з твердим покриттям, у процесі землеустрою розміщуються поля зі спеціальними (овочевими) та кормовими сівозмінами, які мають меншу площу, ніж поля для польових сівозмін. Крім того, в умовах більш складного рельєфу долин річок або балок розмір полів стає меншим, а їх форма буває більш варіабельною.

Тенденція до збільшення або зменшення площі поля протягом часу не є результатом цілком випадкових причин, а є результатом закономірних процесів які можна встановити.

Аспекти форми та розміру полів пов'язані з динамікою процесів, які призводять до варіювання площі полів. Поля, які виявили схильність до зміни своїх розмірів відрізняються за характеристиками форми та розмірів від стабільних полів. Як правило, варіабельними є поля меншого розміру та більш складної форми. Таку закономірність легше пояснити у випадку з тенденцією до зменшення розміру полів, яка, як правило, є результатом активності ерозійних процесів. Ці процеси найбільш інтенсивні у тих місцях, де як правило, розміщені поля меншої площі та більш складної форми. У свою чергу збільшення розмірів поля як результат пріорювання повинно бути відбуватися незалежно від місцерозположення. Хоча неможна виключати тієї обставини, що вірогідність пріорювання пропорційна довжині границі поля, яка вища у полів меншого розміру та більш складної форми.

Пряме порівняння маркерів форми та розмірів полів, якими є головні багатомірні фактори для різних за своєю динамікою полів та логістична регресійна модель дають дещо відмінні результати, що свідчить про наявність складних та нелінійних механізмів реалізації процесів, які у кінцевому результаті призводять до динамічності структури антропогенного ландшафту. Важливим результатом є те, що структурні типологічні одиниці, які встановлені за розмірами та формою полів, відрізняються своїми потенціями до динаміки зміни площі. Морфологічно різноманітною є група кластерів, які характеризуються потенцією до збільшення площі та морфологічно однорідною є група, для якої характерна тенденція до зменшення площі.

Очевидно, що для повного розуміння процесів, які призводять до динамічності антропогенного ландшафту, треба враховувати безпосередньо рельєфні особливості території та маркери перерозподілу вологи та сонячної енергії на земній поверхні, активності процесів ерозійних процесів та просторову структуру природного та штучного рослинного покриву.

References

- Alados, C.L., Pueyo, Y., Barrantes, O., Escós, J., Giner, L., Robles, A. (2004). Variations in landscape patterns and vegetation cover between 1957 and 1994 in a semiarid Mediterranean ecosystem. *Landscape ecology*, 19, 5, 543–559.
- Alberti, M. (2005). The effects of urban patterns on ecosystem function. *International Regional Science Review*, 28, 2, 168–192.
- Alberti, M., Marzluff, J., Shulenberg, E., Bradley, G., Ryan, C. Sumbrunnen, C. (2003). Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *Bioscience* 53 (12): 1169–1179.
- Asar, O. (2014). Estimating Box–Cox Power Transformation Parameter via Goodness of Fit Tests. *Communications in Statistics – Simulation and Computation*, 43 (7), 1740–1759
- Bogaert, J., Rousseau, R., Van Hecke, P., Impens, I. (2000). Alternative area–perimeter ratios for measurement of 2–D shape compactness of habitats. *Applied Mathematics and Computation*, 111, 71–85.
- Boutin, C., Jobin, B. (1998). Intensity of agricultural practices and effects on adjacent habitats. *Ecol. Appl.*, 8, 544–557.
- Box, G.E.P., Cox, D.R. (1964). An Analysis of Transformations (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 26, 211–252.
- Concepción, E.D., Díaz, M., Fernández–González, F. (2012). Plant diversity partitioning in Mediterranean croplands: effects of farming intensity, field edge, and landscape context. *Ecol. Appl.*, 22, 972–981.
- Debatsa, S.R., Luob, D., Estesa, L.D., Fuchsc, T.J., Caylor, K.K. (2016). A generalized computer vision approach to mapping crop fields in heterogeneous agricultural landscapes. *Remote Sensing of Environment*, 179(15), 210–221.
- Delignette–Muller, M.L., Dutang, C. (2015). *fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions*. *Journal of Statistical Software*, 64(4), 1–34.
- Duelli, P. (1997). Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: an approach at two different scales. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 62, 81–91.
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O. et al. (2011). Functional heterogeneity and biodiversity in agricultural landscapes. *Ecol. Lett.*, 14, 101–112.
- Fahrig, L., Girard, J., Duro, D., Pasher, J., Smith, A. et al. (2015). Farmlands with smaller crop fields have higher within–field biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200, 219–234. doi : 10.1016/j.agee.2014.11.018
- Fahrig, L., Nuttle, W.K. (2005). Population ecology in spatially heterogeneous environments (pp. 95–118). In: Lovett, G.M., Jones, C.G., Turner, M.G., Weathers, K.C. (Eds.), *Ecosystem Function in Heterogeneous Landscapes*. Springer–Verlag, New York.
- Garrabou, J., Riera, J., Zabala, M. (1998). Landscape pattern indices applied to Mediterranean subtidal rocky benthic communities. *Landscape ecology*, 13, 4, 225–247.
- Holland, J.D., Fahrig, L. (2000). Effect of woody borders on insect density and diversity in crop fields: a landscape–scale analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 78, 115–122.

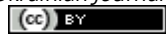
- Jiao, L., Liu, Y. (2012). Analyzing the Shape Characteristics of Land Use Classes in Remote Sensing Imagery. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1-7, 135-140.
- Jomaa, I., Audab, Y., Abi Saleh, B., Hamze, M., Safi, S. (2008). Landscape spatial dynamics over 38 years under natural and anthropogenic pressures in Mount Lebanon. *Landscape and urban planning*, 87, 1, 67-75.
- Kuchma, T.L. (2015). Indication landscape diversity according to remote sensing: Thesis of Doctoral Dissertation. Kyiv (in Ukrainian).
- Kleijn, D., Verbeek, M. (2000). Factors affecting the species composition of arable field boundary vegetation. *J. Appl. Ecol.*, 37, 256-266.
- Kovalchuk, I.P. (2014). Current issues of geo-mapping of land resources Administrative Region. *Geopolitics and exogeodynamics of the regions*, 10, 1, 58-62 (in Ukrainian).
- Kraseha, Y.N. (2011). Modern features of methodology for mapping soils. *Agricultural chemistry and soil science*, 20-26 (in Ukrainian).
- LaGro, J.Jr. (1991). Assessing patch shape in landscapemosaics. *Photogrammetric Eng. Remote Sens*, 57, 285-293.
- Lindenmayer, D., Hobbs, R., Montague-Drake, R., Alexandra, J., Bennett, B. et al. (2008). A checklist for ecological management of landscapes for conservation. *Ecol. Lett.*, 11, 78-91.
- Malaviya, S., Munsri, M., Oinam, G., Joshi, P.K., (2010). Landscape approach for quantifying land use land cover change (1972-2006) and habitat diversity in a mining area in Central India (Bokaro, Jharkhand), *Environmental Monitoring and Assessment*, 170, 215-229.
- Marshall, E.J.P., Moonen, A.C. (2002). Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 89, 5-21.
- McGarigal, K., Marks, B.J., (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.
- Medvedev, V.V., Plisko, I.V. (2006). Bonitet and quality assessment of arable lands of Ukraine. Kharkiv. 13 typography (in Russian).
- Merckx, T., Feber, R.E., Dulieu, R.L., Townsend, M.C., Parsens, M.S., Bourn, N.A.D., Riordan, P., MacDonald, D.W. (2009). Effect of field margins on moths depends on species mobility: field-based evidence for landscape-scale conservation. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 129, 302-309.
- Merckx, T., Marini, L., Feber, R.E., MacDonald, D.E. (2012). Hedgerow trees and extended-width field margins enhance macro-moth diversity: implications for management. *J. Appl. Ecol.*, 49, 1396-1404.
- Milne, B.T. (1991). Lessons from applying fractal models to landscape patterns (pp. 199-235). In: Turner M.G. and Gardner R.H. (eds), *Quantitative Methods in Landscape Ecology. The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity*. Springer-Verlag, New York, NY, USA.
- Navarro-Cerrillo, R., Guzmán-Álvarez, J., Clavero-Rumbao, I., Ceaceros, C. (2012). Spatial pattern of landscape changes and consequence changes in species diversity between 1956-1999 of *Pinus halepensis* Miller plantations in Montes de Malaga State Park (Andalusia, Spain). *Open Journal of Ecology*, 2, 154-165. doi: 10.4236/oje.2012.23019.
- Pickett, S.T.A., Cadenasso, M.L., Jones, C.G. (2000). Generation of heterogeneity by organism: creation, maintenance, and transformation (pp. 33-52). In *Ecological consequences of habitat heterogeneity*, M. Hutchings, L. John, A. Stewart (Eds.). New York: Blackwell, 33-52.
- Polchina, S.M. (2004). Field research and mapping of soils. Chernyvtsi, Ruta (in Ukrainian).
- Puzachenko, Y.G. (2004). Mathematical methods in the ecology and geography investigations. Moscow. Academy (in Russian).
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reymers, N.F. (1994). Ecology. Theory, laws, rules, principles and hypotheses. Moscow. Russia Molodaya (in Russian).
- Riley, S.J., De Gloria, S.D., Elliot, R. (1999). A Terrain Ruggedness that Quantifies Topographic Heterogeneity. *Intermountain Journal of Science*, 5, 1-4, 23-27.
- Rocchini, D., Perry, G.L., Salerno, M., Maccherini, S., Chiarucci, A. (2006). Landscape change and the dynamics of open formations in a natural reserve. *Landscape and urban planning*, 77, 1-2, 167-177.
- Roschewitz, I., Gabriel, D., Tschardt, T., Thies, C. (2005). The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *J. Appl. Ecol.*, 42, 873-882
- Schippers, P., Joenje, W. (2002). Modelling the effect of fertiliser, mowing, disturbance and width on the biodiversity of plant communities of field boundaries. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 93, 351-365.
- Sulin, M. A. (2005). Land planning. Saint Petersburg. "Lan" Publisher (in Russian).
- Tinker, D.B., Romme, W.H., Despain, D.G. (2003). Historic range of variability in landscape structure in subalpine forests of the Grater Yellowstone Area, USA. *Landscape ecology*, 18, 4, 427-439.
- Tschardt, T., Tylianakis, J., Rand, T., Didham, R., Fahrig, L. et al. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes – eight hypotheses. *Biol. Rev.* 87, 661-685.
- Vickery, J.E., Feber, R.E., Fuller, R.J. (2009). Arable field margins managed for biodiversity conservation: a review of food resource provision for farmland birds. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 133, 1-13.
- Vitousek, P.M. (1994). Beyond global warming: ecology land global change. *Ecology* 75(7), 1861-1876.
- Wehling, S., Diekmann, M. (2010). Prediction of changes in the occurrence of forest herbs in hedgerow networks along a climate gradient in north-western Europe. *Biodivers. Conserv.*, 19, 2537-2552.
- Whittaker, R.H. (1967). Gradient analysis of vegetation. *Biol. Rev.*, 42, 207-264.

-
- Zhukov, O.V., Pisarenko, P.V., Kunah, O.M., Dichenko, O.J. (2015). Role of landscape diversity in dynamics of abundance of sugar beet pests population in Poltava region. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, 23, 1, 21–27 (in Ukrainian).
- Zhukov, O.V., Pisarenko, P.V., Kunah, O.M., Dichenko, O.J. (2015). Assessment of the variation within space and time plant cover by means of remote sensing. *Visnyk of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economy University*, 2, 36, 105–112 (in Ukrainian).
- Zhukov, A.V., Kunah, O.M., Zadorozhnaja, G.A., Andrushevich, E.V. (2013). Landscape ecology as a basis of the spatial analysis of agrocoenosis productivity. *Ecology and Noospherology*, 24, 1–2, 68–80 (in Russian).
- Zhukov, O.V., Kunah, O.M., Taran, V.O., Lebedinska, M.M. (2016). Spatial variability of soils electrical conductivity within arena of the river dnepr valley (territory of the natural reserve “Dniprovsko–Orilsky”). *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 6 (2), 129–157 (in Ukrainian).
- Zybalov, V.S. (2014). Environmental regulation of the spatial structure of agro–ecosystems in the southern Urals. *Science of the South Ural State University. Natural science section*, 379–384 (in Russian).
-

Citation:

Zhukov, A.V., Sirovatko, V.O., Ponomarenko, N.O. (2017). Spatial dynamic of the agriculture fields towards their shape and size.

Ukrainian Journal of Ecology, 7(3), 14–31.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License
