

19. *Медведев В. В.* Неоднородность как закономерное проявление горизонтальной структуры почвенного покрова / В. В. Медведев // *Грунтознавство* – 2010. – Т. 11, № 1–2. – С. 6–15.
20. *Пространственная экология и рекультивация земель / А. А. Демидов, А. С. Кобец, Ю. И. Грицан, А. В. Жуков.* – Д. : Изд-во «Свидлер А.Л.», 2013. – 560 с.
21. *Розанов Б. Г.* Морфология почв : учеб. для высшей шк. / Б. Г. Розанов. – М. : Академический проект, 2004. – 431 с.
22. *Cambardella C. A.* Field scale variability of soil properties in central Iowa soils / C. A. Cambardella, T. B. Moorman, J. M. Novak // *Soil Science Soc. Am.* – 1994. – Vol. 58. – P. 1501–1511.

*Надійшла до редколегії 12.10.2015*

УДК 631.4:634.9

**Д. С. Ганжа<sup>1</sup>, О. Н. Кунах<sup>1,2</sup>, А. В. Жуков<sup>2</sup>, В. А. Новикова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Природний заповідник «Дніпровсько-Орельський»*

<sup>2</sup>*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара*

### **ЭКОМОРФИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЧЕРНОКЛЕНОВНИКОВ В ПСАМОФИЛЬНОЙ СТЕПИ НА АРЕНЕ р. ДНЕПР**

Чернокленовые кустарники на арене р. Днепр, впервые открытые А. Л. Бельгардом и Т. А. Кириченко в 30-е г. XX в., представляют собой уникальные естественные группировки, которые требуют особой охраны. Уникальность чернокленовых кустарников состоит в специфической позиции лесной компоненты – на вершинах дюнных холмов. Кроме того, ценоморфические компоненты сообществ имеют четкую биогоризонтную привязанность: древесный и кустарниковый ярусы представлены сільвантами, а травостой – степантами, псаммофитами и в меньшей степени – пратантами. Установлено, что растительная группировка представлена 57 видами. Экстремальная экологическая обстановка проявляет себя в высокой степени структурированности сообщества, что выявлено средствами многомерного шкалирования. Растительные группировки, которые находят свое отражение в многомерных измерениях, могут быть интерпретированы с помощью фитоиндикационных шкал. Свойства эдафотопы находятся во взаимосвязи со структурой растительного покрова. Это показано для таких почвенных свойств, как твердость, плотность, влажность и температура почвы, а также агрегатная структура. Тест Мантеля подтвердил приоритетную роль фитоиндикационных шкал в интерпретации структурных единиц растительного покрова.

*Ключевые слова:* экоморфы, многомерное шкалирование, фитоиндикация.

**Д. С. Ганжа<sup>1</sup>, О. М. Кунах<sup>1,2</sup>, О. В. Жуков<sup>2</sup>, В. О. Новікова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Природний заповідник «Дніпровсько-Орельський»*

<sup>2</sup>*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара*

### **ЕКОМОРФІЧНА ОРГАНІЗАЦІЯ ЧОРНОКЛЕНОВНИКІВ У ПСАМОФІЛЬНОМУ СТЕПУ НА АРЕНІ р. ДНІПРО**

Чернокленові чагарники на арені р. Дніпро, уперше відкриті О. Л. Бельгардом і Т. А. Кириченко в 30-і рр. XX ст., являють собою унікальні природні угруповання, які потребують особливої охорони. Унікальність чорнокленових чагарників полягає у специфічній позиції лісового компонента – на вершинах дюнних пагорбів. Крім того, ценоморфічні компоненти рослинних угруповань мають чітку біогоризонтну приуроченість: деревинний і чагарниковий яруси представлені сільвантами, а тра-

востій – степантами, псаммофітами та у меншому ступені – пратантами. Установлено, що рослинне угруповання представлене 57 видами. Екстремальна екологічна обстановка проявляє себе у високому ступені структурованості угруповання, що виявлено засобами багатовимірного шкалювання. Рослинні угруповання, які знаходять своє відбиття в багатовимірних вимірах, можуть бути інтерпретовані за допомогою фітоіндикаційних шкал. Властивості едафотопу перебувають у взаємозв'язку зі структурою рослинного покриву. Це показано для таких ґрунтових властивостей, як твердість, щільність, вологість і температура ґрунту, а також агрегатна структура. Тест Мантеля підтвердив пріоритетну роль фітоіндикаційних шкал в інтерпретації структурних одиниць рослинного покриву.

*Ключові слова:* екоморфи, багатовимірне шкалювання, фітоіндикація.

D. S. Ganzha<sup>1</sup>, O. N. Kunah<sup>1,2</sup>, And. V. Zhukov<sup>2</sup>, V. A. Novikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nature Reserve "Dneprovsko-Orelysky"

<sup>2</sup>O. Hochar Dnipropetrovsk National University

### ECOMORPHIC ORGANISATION *ACER TATARICUM* COENOSIS IN SAND STEPPES ON ARENA OF THE RIVER DNEPR

*Acer tataricum* bushes on arena of the river Dnepr, for the first time open by A.L.Belgard and T.A.Kirichenko in 30th years of the XX-th century, represent unique natural groupings which demand the special preservation. Uniqueness *Acer tataricum* bushes consists in a specific position wood components at the up of the dunes hills. Besides, coenomorph components of community have accurate biohorizon attachment behaviour: forest and bushes layers are presented by silvants, and herbage - stepants, pсамophyts and to a lesser degree - pratants. It is established that the plant community is presented by 57 species. Extreme ecological conditions prove highly structuredness of assemblage that is revealed by means multidimensional scaling. Vegetative groupings which find the reflectance in multidimensional measurements, can be interpreted by means of phytoindicator scales. Edaphotop properties are in interrelation with frame of a vegetative integument. It is shown for such soil properties, as penetration resistance, density, humidity and soil temperature, and also aggregate composition. Analysis of the received data testifies that the greatest correlation with factors of medium characterises templates on the basis of the metrics Kulchinsky and for transformation of extraction of a square root. Multidimensional scaling allows to display in space of smaller dimension initial multidimensional data file. The question on number of measurements can be solved by an assessment of speed of change of stress at augmentation of number of measurements. The stress is a measure of accuracy of display of the initial data in space of smaller dimension. Phytoindicator scales specify that the dimension 1 obtained at multidimensional scaling, is bound to rather raised acidity of soil, aeration and the raised level of a nitrogenous nutrients. Positive values of dimension 1 specify in those fields of polygon where representatives forest coenotic components prevail. Values of dimension 2 directly do not specify in features of assemblage which would have ecomorphic a component. This measurement is sensitive to erect differentiation of a profile of bedrock on values of hardness. Positive values of dimension 2 specify in fields with prevalence of gravel, and negative - roots in soil. Phytoindicator scales specify in a high role of variability of a mode of humidifying, salifications and edaphotop humidity in definition of trends of variability of vegetation which are reflected by dimension 2. Positive values of dimension 3 specify in sites in which the vegetation has mainly meadow character with essential steppe компонентой. Negative values in a greater degree correspond to psomophyt assemblage components. From edaphic properties to dimension 3 are to the greatest degree bound such, as the gravel and coarse sand maintenance, and also the maintenance in bedrock of roots. The raised values of such phytoindicator scales as security of soil calcium and continentality, correspond to positive values of dimension 3. The Mantel test has confirmed a priority role of phytoindicator scales in interpretation of structural units of vegetation.

*Key words:* ecomorphes, multidimensional scaling, phytoindication.

**Введение.** А. Л. Бельгард и Т. Ф. Кириченко [3] при описании растительности пойменных лесов средней части течения р. Днепр обнаружили, что в местности между селами Куриловка и Обуховка, что ныне соответствует территории природного заповедника «Днепровско-Орельский», на дюнных всхолмлениях встречаются своеобразные заросли кустарников, где доминирует клен татарский (*Acer tataricum* L.). Такие чернокленовники занимают кратероподобные понижения между дюн. Нередко чернокленовники более упрощенной структуры одевают зеленой шапкой вершины дюн. Эти оригинальные островки кустарников окружены незадерненными песками с корневещными и корнепаростковыми видами (*Carex arenaria* subsp. *colchica* (J.Gay) Nyman, *Linaria odora* (M. Bieb.) Fisch. и др.). Кроме господствующего *Acer tataricum* тут в мае растет барбарис (*Berberis vulgaris* L.) и встречаются одинокие груша (*Pyrus communis* L.) и кусты бузины черной (*Sambucus nigra* L.). Иногда древесно-кустарниковый ярус настолько мощный, что под ним почти исчезают травянистые виды. Как считают авторы, описавшие эти растительные группировки, парадоксальная приспособленность чернокленовников к повышенным местообитаниям на дюнных всхолмлениях может поставить под сомнение их природное происхождение. Но наличие среди чернокленовников барабариса, бересклета европейского (*Euonymus europaeus* L.) и груши совместно с рядом исключительно лесных видов – купена душистая (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce), колокольчик шершаволистный (*Campanula trachelium* L.) подтверждает естественный характер этих своеобразных лесных ценозов на фоне арены [3]. С момента описания чернокленовых кустарников на вершинах дюн эти уникальные природные явления практически не были изучены. Для анализа и изучения сообществ чернокленовников нами применен метод экоморфического анализа растительности А. Л. Бельгарда [2] в объединении с методами пространственной экологии [1; 5; 6; 8].

Целью настоящей работы является установить видовое богатство растительных группировок чернокленовых кустарников на вершинах дюнных всхолмлений на арене р. Днепр в пределах природного заповедника Днепровско-Орельский, выявить особенности экоморфической организации этих комплексов и характер взаимоотношений с эдафотопом.

**Материалы и методы.** Исследования проведены в апреле–мае 2014 г. в природном заповеднике «Днепровско-Орельский». Исследуемый полигон заложен на участке, который находится на арене р. Днепр (48°30'47.26"С, 34°49'36.49"В). Полигон состоит из 15 трансект. Каждая трансекта составлена из 7 пробных точек. Расстояние между рядами в полигоне составляет 3 м. Полигон расположен в направлении с юга на север. Начальные пробные точки полигона находятся у основания дюнного всхолмления. Полигон своей правой частью заходит на дюну, а его левая часть эту дюну огибает. На вершине дюны находятся чернокленовые кусты. У основания дюны расположены несколько отдельно стоящих сосен. Преобладающий тип растительности – псаммофильная степь. В пределах каждого квадрата размером 3×3 м было проведено описание растительности. Измерение твердости почв производились в полевых условиях с помощью ручного пенетromетра Eijkelkamp на глубину до 50 см с интервалом 5 см. Средняя погрешность результатов измерений прибора составляет ±8 %. Измерения производились конусом с размером поперечного сечения 2 см<sup>2</sup>. В пределах каждой точки измерения твердости почвы производились в однократной повторности. Для проведения измерения электропроводности почвы *in situ* использовался сенсор HI 76305 (Hanna Instruments, Woodsocket, R. I.). Этот сенсор работает совместно с портативным прибором HI 993310. Тестер оценивает общую электропроводность почвы, т.е. объединенную проводимость почвенного воздуха, воды и частиц. Результаты измерений прибора представлены в единицах насыщенности почвенного раствора солями – г/л. Сравнение результатов измерений прибором HI 76305

с данными лабораторных исследований позволили оценить коэффициент перевода единиц как  $1 \text{ дС/м} = 155 \text{ мг/л}$  [12]. Почвенную температуру измеряли в период с 13 до 14 часов цифровыми термометрами WT-1 (ПАО «Стеклоприбор», <http://bit.steklopribor.com>, точность –  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) на глубине 5–7 см. Мощность подстилки измерялась линейкой, высота травостоя – мерной рулеткой. Измерения электропроводности, температуры, высоты травостоя и мощности подстилки сделаны в трехкратной повторности в каждой пробной точке. Агрегатную структуру оценили методом сухого просеивания по Савинову, плотность почвы – по Качинскому, влажность почвы – весовым методом [4].

Статистические расчеты проведены с помощью программы Statistica 7.0 и программной оболочки Project R «R: A Language and Environment for Statistical Computing» (<http://www.R-project.org/>) [13]. Оценивание доверительных интервалов и стандартного отклонения численности почвенных животных было произведено с помощью бутстреп-подхода и выполнено средствами пакета bootES [11]. Характеристика экоморф растений приведена по А. Л. Бельгарду [2] и В. В. Тарасову [9], бальная оценка экоморф приведена по Н. М. Матвееву [7], фитоиндикационные шкалы – по Я. П. Дидуху [10]. Процедура многомерного шкалирования описана в работе А. В. Жукова [5].

**Результаты и обсуждение.** Установлено, что общий список обнаруженных сосудистых растений в пределах изученного полигона составляет 57 видов (табл. 1).

Древесные растения представлены отдельно стоящими сосной обыкновенной, дубом, тополем черным и шелюгой. Полигон частично занимает верхушку дюнного всхолмления, на котором находятся чернокленовые кусты. В нижней части дюнного всхолмления можно встретить ракитник русский. Гемикриптофиты представлены 26 видами, среди которых наибольшее значение имеют овсяница Беккера (*Festuca beckeri* (Hack.) Trautv.) и полынь днепровская (*Artemisia dniproica* Klok). Терриофиты представлены 13 видами, среди которых наибольшее значение по проективному покрытию играет рожь дикая (*Secale sylvestre* Host). Геофиты представлены 9 видами, наиболее типичными из которых являются камышевик обыкновенный (*Scirpoides holoschoenus* (L.) Sojak) и зубровка пахучая (*Hierochloe odorata* (L.) Beauv.).

Изучаемый биогеоценоз находится на стыке двух сообществ: псаммофильной степи и кустарникового ценоза на вершине дюнного всхолмления. В ценоотическом отношении речь идет о псаммофильном степном моноценозе и кустарниковом амфиценозе со степными и лесными элементами. Древостой и кустарники представлены сивантами, а полукустарники – псаммофитами. Гемикриптофиты многолетники представлены преимущественно псаммофитами (82,38 %), а двулетники – степантами (60,00 %). Терофиты представлены псаммофитами (95,00 %). Более разнообразны в ценоморфическом отношении геофиты, которые представлены пратантами 44,00 %, псаммофитами (36,80 %) и сивантами (18,40 %).

Однолетники формируют 67,10 % проективного покрытия (54,39 % от видового богатства), двулетники – 0,24 % (7,02 % от видового богатства), а однолетники – 9,65 % (22,81 % от видового богатства).

За основу шкалы показателя гидроморф (экогруппы растений относительно водного режима почв) Я. П. Дидуха [10] взята шкала Цыганова, которая содержит 23 градации. Уровень влажности эдафотоп изучаемого полигона можно оценить как среднестепной (по Цыганову) и субскерофитный (по Дидуху). Такой режим влажности характерен для суховатых лугово-степных условий с незначительным промачиванием корнеобитаемого слоя осадками и талыми водами [10].

По шкале переменности увлажнения эдафотоп можно охарактеризовать как гидроконтрастнофильный – характерный для сухих степных экотопов, которые формируются в условиях крайне неравномерного увлажнения.

Таблиця 1

## Видовой состав и экоморфические особенности растительности изученного полигона

| Клима-морфа | Жизненная форма | Название вида            |                                                          | Экоморфы по А. Л. Бельгарду [2] |            |            |             | Доверительный интервал  |       | NMDS  |       |       |       |
|-------------|-----------------|--------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|------------|-------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             |                 | Русское                  | Латинь                                                   | Ценоморфы                       | Трофоморфы | Гипроморфы | Гелиноморфы | Проективное покрытие, % | -95 % | +95 % | 1     | 2     | 3     |
| Ph          | Дер             | Дуб обыкновенный         | <i>Quercus robur</i> L.                                  | Sil                             | MgTr       | MsKs       | ScHe        | 0,01±0,01               | 0,00  | 0,03  | 1,15  | 0,45  | 0,35  |
|             |                 | Сосна обыкновенная       | <i>Pinus sylvestris</i> L.                               | Sil                             | OgTr       | Ks         | He          | 4,14±0,71               | 2,88  | 5,76  | 1,10  | -0,14 | 0,11  |
|             |                 | Тополь черный            | <i>Populus nigra</i> L.                                  | Sil                             | MsTr       | Ms         | ScHe        | 0,10±0,09               | 0,00  | 0,29  | 0,05  | 1,15  | -0,53 |
|             |                 | Шелюга                   | <i>Salix acutifolia</i> Willd.                           | Ps                              | OgTr       | MsKs       | He          | 0,48±0,27               | 0,10  | 1,33  | 0,37  | -0,60 | -0,99 |
| nPh         | Куст            | Барбарис обыкновенный    | <i>Berberis vulgaris</i> L.                              | Sil                             | MsTr       | KsMs       | ScHe        | 0,06±0,05               | 0,00  | 0,25  | 1,14  | 0,64  | -0,73 |
|             |                 | Жостер слабительный      | <i>Rhamnus cathartica</i> L.                             | Sil                             | OgTr       | Ms         | ScHe        | 0,02±0,01               | 0,00  | 0,05  | 1,19  | 0,07  | -0,81 |
|             |                 | Клен татарский           | <i>Acer tataricum</i> L.                                 | Sil                             | MsTr       | KsMs       | He          | 2,65±0,87               | 1,29  | 4,85  | 1,82  | 0,68  | 0,15  |
|             |                 | Ракитник русский         | <i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. Ex Wox.) Krasova | St                              | MsTr       | KsMs       | ScHe        | 0,14±0,06               | 0,06  | 0,29  | 0,10  | -0,54 | -0,07 |
| Ch          | Шкуст           | Тимьян Палласов          | <i>Thymus pallasiatus</i> H. Braun                       | Ps                              | OgTr       | MsKs       | He          | 1,56±0,22               | 1,17  | 2,04  | -0,48 | -0,26 | 0,07  |
| HKr         | Бр.             | Астрагал изменчивый      | <i>Astragalus varius</i> S. G. Gmel.                     | St                              | OgTr       | Ks         | He          | 0,49±0,08               | 0,34  | 0,69  | -0,22 | -0,50 | -0,04 |
|             |                 | Гвоздика Фишера          | <i>Dianthus fischeri</i> Spreng.                         | Ps                              | OgTr       | MsKs       | ScHe        | 0,01±0,01               | 0,00  | 0,03  | -0,11 | -1,41 | -0,54 |
|             |                 | Жабрица извилистая       | <i>Seseli tortuosum</i> L.                               | Ps                              | OgTr       | MsKs       | He          | 1,56±0,18               | 1,21  | 1,90  | 0,15  | -0,30 | -0,23 |
|             |                 | Козлобородник украинский | <i>Tragopogon isticinus</i> Artemsz.                     | Ps                              | OgTr       | MsKs       | He          | 0,10±0,04               | 0,03  | 0,22  | -0,10 | -0,83 | 0,01  |
|             |                 | Молочай Сеггеров         | <i>Euphorbia seguieriana</i> Neck.                       | St                              | OgTr       | MsKs       | He          | 1,70±0,18               | 1,35  | 2,06  | -0,50 | -0,10 | 0,13  |

| Клима-морфа | Жизненная форма                  | Название вида |                                                            | Экоморфы по А. Л. Бельгарду [2] |            |            |            | Проективное покрытие, % | Доверительный интервал |        | NMDS  |       |   |
|-------------|----------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|------------|------------|-------------------------|------------------------|--------|-------|-------|---|
|             |                                  | Русское       | Латинь                                                     | Ценоморфы                       | Профоморфы | Гитроморфы | Гелиоморфы |                         | -95 %                  | + 95 % | 1     | 2     | 3 |
|             | Наголоватка васильковидная       |               | <i>Jurinea charcoviensis</i> Klok.                         | St                              | MsTr       | MsKs       | He         | 0,03±0,02               | 0,07                   | 0,53   | 0,08  | -0,65 |   |
|             | Овсяница Беккера                 |               | <i>Festuca ovina</i> L.                                    | Ps                              | OgTr       | Ks         | He         | 3,75±0,52               | 2,88                   | -0,33  | -0,36 | 0,29  |   |
|             | Одуванчик лекарственный          |               | <i>Taraxacum officinale</i> Wigg.                          | St                              | MsTr       | KsMs       | ScHe       | 0,10±0,04               | 0,23                   | 0,45   | -0,36 | -1,14 |   |
|             | Осока колхидская                 |               | <i>Carex arenaria</i> subsp. <i>colchica</i> (J.Gay) Nyman | Pr                              | OgTr       | MsKs       | He         | 0,25±0,06               | 0,14                   | 0,20   | 0,61  | 0,19  |   |
|             | Полынь полевая                   |               | <i>Artemisia arenaria</i> DC.                              | Ps                              | MsTr       | MsKs       | He         | 0,26±0,08               | 0,11                   | 0,18   | -0,47 | -0,45 |   |
|             | Смолевка татарская               |               | <i>Silene tatarica</i> (L.) Pers.                          | Pr                              | MsTr       | KsMs       | ScHe       | 0,08±0,03               | 0,03                   | -0,54  | 0,67  | 0,75  |   |
|             | Спаржа лекарственная             |               | <i>Asparagus officinalis</i> L.                            | St                              | MgTr       | MsKs       | ScHe       | 0,10±0,03               | 0,05                   | 0,58   | 0,44  | -0,34 |   |
|             | Тонконог песчаный                |               | <i>Poa glauca</i> Schkuhr                                  | Ps                              | OgTr       | MsKs       | He         | 1,42±0,18               | 1,09                   | -0,08  | -0,40 | 0,20  |   |
|             | Тысячелистник мелкоцветковый     |               | <i>Achillea micrantha</i> Willd.                           | St                              | MsTr       | Ks         | He         | 0,46±0,09               | 0,29                   | 0,11   | -0,10 | -0,18 |   |
|             | Тысячелистник почти обыкновенный |               | <i>Achillea millefolium</i> L.                             | Pr                              | MgTr       | KsMs       | He         | 0,08±0,05               | 0,02                   | 0,13   | -1,14 | -0,46 |   |
|             | Цмин песчаный                    |               | <i>Helichrysum arenarium</i> (L.) Moench                   | St                              | MsTr       | MsKs       | He         | 0,63±0,10               | 0,46                   | 0,00   | -0,28 | 0,31  |   |
|             | Чистотел большой                 |               | <i>Chelidonium majus</i> L.                                | Sil                             | MsTr       | Ms         | ScHe       | 0,05±0,02               | 0,01                   | 1,87   | 0,50  | 0,27  |   |
|             | Ястребинка зонтичная             |               | <i>Hieracium umbellatum</i> L.                             | St                              | OgTr       | MsKs       | ScHe       | 0,01±0,01               | 0,00                   | 0,16   | -1,93 | 0,55  |   |
|             | Синтрихия полевая                |               | <i>Syntrichia ruralis</i> (Hedw.) F. Weber & D. Mohr       | Ps                              | OgTr       | MsKs       | He         | 11,14±0,90              | 9,52                   | -0,31  | 0,05  | -0,22 |   |

Продолжение табл. 1

| Клима-морфа | Жизненная форма | Название вида          |                                            | Экоморфы по А. Л. Бельгарду [2] |            |           |            | Доверительный интервал  |       | NMDS  |       |       |       |
|-------------|-----------------|------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------------|-----------|------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             |                 | Русское                | Латинь                                     | Ценоморфы                       | Трофоморфы | Гироморфы | Гелиоморфы | Проективное покрытие, % | -95 % | +95 % | 1     | 2     | 3     |
|             |                 | Осока весенняя         | <i>Carex saryophyllea</i> Latour.          | Pr                              | OgTr       | Ms        | He         | 0,46±0,12               | 0,26  | 0,75  | -0,30 | -0,09 | 0,78  |
|             |                 | Вероника длинолистная  | <i>Veronica longifolia</i> L.              | Pr                              | MgTr       | HgMs      | ScHe       | 0,01±0,01               | 0,00  | 0,03  | 0,54  | -1,12 | 1,22  |
|             |                 | Польнь днепровская     | <i>Artemisia dniproica</i> Klok            | Ps                              | MsTr       | MsKs      | He         | 2,47±0,25               | 1,99  | 3,01  | -0,43 | 0,25  | 0,09  |
|             | Дв              | Василек днепровский    | <i>Centaura borysthenica</i> Czern.        | Ps                              | OgTr       | MsKs      | He         | 0,03±0,02               | 0,00  | 0,06  | 0,34  | -0,08 | 0,78  |
|             |                 | Василек раскидистый    | <i>Centaura diffusa</i> Lam.               | St                              | MsTr       | Ks        | He         | 0,03±0,02               | 0,00  | 0,07  | -0,08 | 0,74  | 0,17  |
|             |                 | Донник желтый          | <i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.    | Pr                              | MsTr       | KsMs      | He         | 0,01±0,01               | 0,00  | 0,03  | 0,54  | -1,12 | 1,22  |
|             |                 | Козлобородник большой  | <i>Tragopogon major</i> Jacq.              | St                              | MsTr       | MsKs      | ScHe       | 0,03±0,02               | 0,00  | 0,06  | -0,68 | 0,22  | -0,25 |
|             | Од              | Баркгаузия маколистная | <i>Crepis rhoeadifolia</i> Bieb.           | St                              | MsTr       | MsKs      | He         | 0,01±0,01               | 0,00  | 0,03  | -0,58 | 0,27  | -0,22 |
|             |                 | Бурячок маленький      | <i>Alyssum minutum</i> Schlecht. ex DC.    | Ps                              | OgTr       | MsKs      | He         | 0,06±0,02               | 0,02  | 0,10  | -0,29 | 1,18  | 0,46  |
|             |                 | Горец песчаный         | <i>Polygonum arenarium</i> Waldst. et Kit. | Ps                              | OgTr       | MsKs      | He         | 0,08±0,03               | 0,03  | 0,12  | -0,71 | 0,05  | 0,20  |
|             |                 | Костер растопыренный   | <i>Bromus squarrosus</i> L.                | St                              | MgTr       | MsKs      | ScHe       | 0,01±0,01               | 0,00  | 0,03  | -0,37 | -0,63 | -1,49 |
|             |                 | Латук компасный        | <i>Lactuca serriola</i> L.                 | St                              | MsTr       | KsMs      | He         | 0,02±0,01               | 0,00  | 0,05  | 0,31  | 0,20  | -1,15 |
|             |                 | Лебеда татарская       | <i>Atriplex tatarica</i> L.                | St                              | MsTr       | MsKs      | He         | 0,05±0,02               | 0,01  | 0,10  | 1,20  | 0,64  | 0,43  |
|             |                 | Мелколестник канадский | <i>Coryza canadensis</i> (L.) Cronq.       | St                              | MgTr       | MsKs      | ScHe       | 0,06±0,02               | 0,02  | 0,10  | -0,44 | 1,01  | -0,52 |

| Клима-морфа | Жизненная форма | Название вида                 |                                                                              | Экоморфы по А. Л. Бельгарду [2] |            |            |            | Проективное покрытие, % | Доверительный интервал |        | NMDS  |       |       |
|-------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|------------|------------|-------------------------|------------------------|--------|-------|-------|-------|
|             |                 | Русское                       | Латинь                                                                       | Ценоморфы                       | Трофоморфы | Гигроморфы | Гелиоморфы |                         | -95 %                  | + 95 % | 1     | 2     | 3     |
|             |                 | Мяглик узколистный однолетний | <i>Poa annua</i> L.                                                          | Pr                              | MsTr       | Ms         | HeSc       | 0,08±0,05               | 0,00                   | 0,23   | -0,10 | -0,06 | -2,01 |
|             |                 | Резеда желтая                 | <i>Reseda lutea</i> L.                                                       | St                              | MgTr       | KsMs       | He         | 0,01±0,01               | 0,00                   | 0,03   | -0,81 | 0,07  | 0,56  |
|             |                 | Рожь дикая                    | <i>Secale sylvestre</i> Host                                                 | Ps                              | OgTr       | MsKs       | He         | 2,83±0,30               | 2,27                   | 3,43   | -0,34 | 0,40  | -0,05 |
|             |                 | Кохия шерстистоцветная        | <i>Bassia laniflora</i> (S.G.Gmel.) A.J.Scott                                | Ps                              | OgTr       | MsKs       | ScHe       | 0,41±0,09               | 0,26                   | 0,64   | -0,43 | 0,59  | 0,04  |
|             |                 | Фиалка китайбелева            | <i>Viola arvensis</i> Murr.                                                  | St                              | MsTr       | KsMs       | ScHe       | 0,10±0,04               | 0,04                   | 0,20   | 1,60  | 0,37  | 0,27  |
|             | Од., Дв         | Гулявник Лезеля               | <i>Sisymbrium loeselii</i> L.                                                | Ps                              | MsTr       | MsKs       | ScHe       | 0,10±0,04               | 0,04                   | 0,19   | 0,42  | -0,40 | -0,96 |
| G           | Мн.             | Вейник наземный               | <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth                                      | Pr                              | OgTr       | Ms         | ScHe       | 0,05±0,03               | 0,01                   | 0,15   | 0,40  | 0,52  | -0,46 |
|             |                 | Вьюнок полевой                | <i>Convolvulus arvensis</i> L.                                               | St                              | MsTr       | MsKs       | ScHe       | 0,01±0,01               | 0,00                   | 0,03   | 2,28  | 0,74  | 0,10  |
|             |                 | Житняк пушистоцветковый       | <i>Elymus lanceolatus</i> ssp. <i>lanceolatus</i> (Scribn. & J.G. Sm.) Gould | Ps                              | OgTr       | MsKs       | He         | 0,06±0,04               | 0,00                   | 0,14   | 0,73  | -0,90 | 1,14  |
|             |                 | Камышевик обыкновенный        | <i>Scirpoides holoschoenus</i> (L.) Sojak                                    | Ps                              | OgTr       | Ms         | He         | 0,38±0,11               | 0,20                   | 0,67   | -0,52 | -0,22 | -0,61 |
|             |                 | Купена пахучая                | <i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce                                    | Sil                             | OgTr       | Ms         | ScHe       | 0,22±0,12               | 0,05                   | 0,57   | 1,37  | 0,42  | 0,23  |
|             |                 | Льянка обыкновенная           | <i>Linaria vulgaris</i> Mill.                                                | Pr                              | MsTr       | MsKs       | He         | 0,01±0,01               | 0,00                   | 0,03   | -0,37 | -0,63 | -1,49 |
|             |                 | Пырей ползучий                | <i>Elymus repens</i> (L.) Gould                                              | Pr                              | MsTr       | KsMs       | ScHe       | 0,14±0,06               | 0,05                   | 0,32   | 0,93  | -0,23 | -0,27 |



| Клима-морфа | Жизненная форма | Название вида              |                                                              | Экоморфы по А. Л. Бельгарду [2] |            |            |             | Доверительный интервал  |       | NMDS  |      |       |       |
|-------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|------------|-------------|-------------------------|-------|-------|------|-------|-------|
|             |                 | Русское                    | Латинь                                                       | Ценоморфы                       | Трофоморфы | Гитроморфы | Гелиноморфы | Проективное покрытие, % | -95 % | +95 % | 1    | 2     | 3     |
|             |                 | Зубровка пахучая           | <i>Anthoxanthum nitens</i> (Weber)<br>Y. Schouten & Veldkamp | Pr                              | MsTr       | KsMs       | ScHe        | 0,29±0,08               | 0,14  | 0,48  | 0,46 | -0,77 | -0,34 |
|             |                 | Синеголовник плосколистный | <i>Eryngium planum</i> L.                                    | PrSil                           | MsTr       | MsKs       | ScHe        | 0,04±0,03               | 0,00  | 0,15  | 0,26 | 0,07  | -2,17 |

**Условные обозначения:** Дер. – деревья; Куст. – кустарники, Мн. – многолетники; Дв. – двулетники; Од. – однолетники

Для ординации растительного сообщества было использовано неметрическое многомерное шкалирование, которое считается одной из самых лучших и робастных процедур непрямой ординации. Под робастностью понимается способность метода давать надежные результаты даже тогда, когда нарушаются предположения, лежащие в его основе. Неметрическое шкалирование может применяться для ситуаций с любым характером отклика сообществ живых организмов на факторы окружающей среды [5].

Однако применение этого метода сопряжено с некоторыми особенностями. Прежде всего, это выбор матрицы мер связи между объектами. Известен широкий перечень мер связи и в зависимости от выбора результат проведенного анализа может сильно различаться. Кроме того, расчетная процедура выполнения неметрического шкалирования является итерационной без гарантированного сходящегося решения. Это значит, что пользователь должен рассмотреть несколько альтернативных результатов и некоторым образом распознать и выбрать лучшее решение.

Решение для каждого числа измерений не является подмножеством решения большей размерности, т.е. является в некотором смысле самостоятельным вариантом ординации сообщества.

Для определения лучшей метрики различия-подобия можно исходить из предположения о том, что полученная на её основе матрица должна характеризоваться наибольшей ранговой корреляцией с факторами внешней среды. Выбор был сделан среди следующих метрик: эвклидова, манхеттеновская, Гувера, Брея-Куртиса, Кульчинского, Морисита, Горна-Морисита, биномиальная, Као, Жаккара, Маунфорда, Рауп-Крика, Канберра, Чао [5].

Предварительное преобразование экспериментальных данных также влияет на результаты анализа [5]. Наряду с непосредственным использованием полученных данных практикуются такие формы преобразования, как извлечение логарифма либо корня квадратного, хи-квадрат преобразование, трансформация Хеллинджера и висконсианская трансформация.

В табл. 2 приведены результаты вычисления корреляции Спирмена с матрицами дистанций между сайтами отбора проб, установленными по видовой структуре растительного сообщества и матрицами дистанций, найденными на основе факторов окружающей среды и фитоиндикационных шкал.

Таблица 2

**Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена матриц мер различия-подобия между сайтов отбора проб по таксономической матрице растений и переменных окружающей среды**

| Метрика         | Способ трансформации данных |      |             |       |       |       |      |
|-----------------|-----------------------------|------|-------------|-------|-------|-------|------|
|                 | 1                           | 2    | 3           | 4     | 5     | 6     | 7    |
| Эвклидова       | 0,39                        | 0,48 | 0,50        | 0,37  | 0,53  | 0,42  | 0,42 |
| Манхеттеновская | 0,44                        | 0,46 | 0,49        | 0,39  | 0,52  | 0,44  | 0,54 |
| Гувера          | 0,39                        | 0,44 | 0,44        | 0,39  | 0,46  | 0,42  | 0,49 |
| Брея-Куртиса    | 0,51                        | 0,55 | 0,56        | 0,54  | 0,56  | 0,56  | 0,54 |
| Кульчинского    | 0,52                        | 0,55 | <b>0,57</b> | 0,54  | 0,56  | 0,56  | 0,54 |
| Горна-Морисита  | 0,47                        | 0,52 | 0,52        | -0,37 | -0,52 | -0,30 | 0,01 |
| Биномиальная    | 0,47                        | 0,53 | 0,53        | 0,50  | 0,53  | 0,53  | 0,50 |
| Као             | 0,46                        | 0,46 | 0,46        | 0,46  | 0,46  | 0,46  | 0,45 |
| Жаккара         | 0,51                        | 0,52 | 0,54        | 0,36  | 0,45  | 0,44  | 0,17 |
| Маунфорда       | 0,51                        | 0,55 | 0,56        | 0,54  | 0,56  | 0,56  | 0,54 |
| Раупа-Крика     | 0,55                        | 0,55 | 0,55        | 0,55  | 0,55  | 0,55  | 0,55 |
| Канберра        | 0,55                        | 0,55 | 0,55        | 0,55  | 0,55  | 0,55  | 0,55 |
| Чао             | 0,54                        | 0,55 | 0,55        | 0,54  | 0,55  | 0,55  | 0,54 |

**Условные обозначения:** 1 – данные не трансформированы; 2 – логарифмированные данные; 3 – корень квадратный; 4 – данные, нормированные к 1; 5 – преобразование Хеллинджера; 6 –  $\chi^2$ -трансформация; 7 – висконсианская трансформация.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что наибольшей корреляцией с факторами среды характеризуются матрицы на основе метрики Кульчинского и для преобразования извлечения квадратного корня. Многомерное шкалирование позволяет в пространстве меньшей размерности отобразить исходный многомерный массив данных. Вопрос о числе измерений может быть решен путем оценки скорости изменения стресса при увеличении числа измерений. Стресс является мерой точности отображения исходных данных в пространстве меньшей размерности. Если при увеличении числа измерений уменьшение стресса происходит медленно, то такой прирост числа не дает существенного улучшения качества отображения. Таким образом, резкий перегиб кривой стресс-число измерений может указывать на оптимальное число измерений. Четкость перегиба усиливается, если использовать дифференциальный стресс – разницу значений стресса между соседними числами измерений (рис. 1).

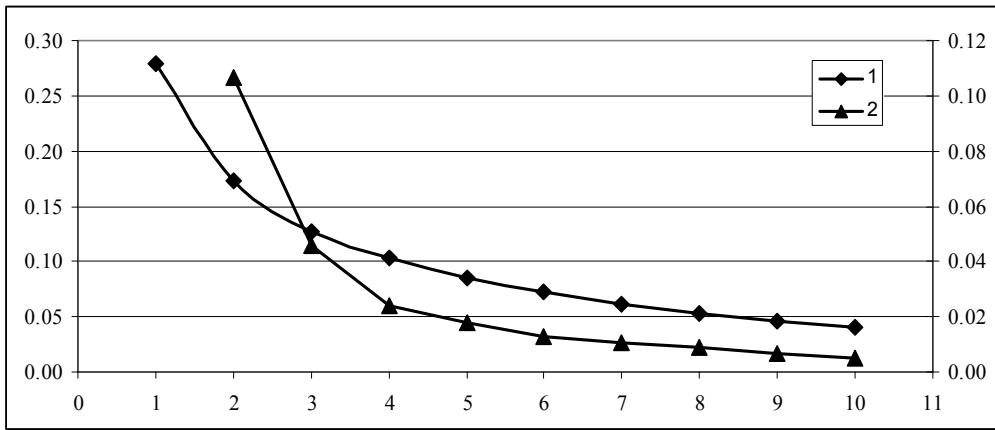


Рис. 1. Зависимость стресса и дифференциального стресса от числа измерений

**Условные обозначения:** ось абсцисс – число измерений; ось ординат – стресс (1, слева) и дифференциальный стресс (2, справа). Стрелка указывает на зону резкого перегиба дифференциального стресса.

Результаты, представленные на графике, свидетельствуют о том, что после трех и более выбранных измерений стресс увеличивается очень плавно. Это позволило нам остановиться на отображении многомерного облака данных в трех измерениях.

Анализ коэффициентов корреляции показателей среды и значений измерений является основой для интерпретации этих измерений (табл. 3).

Таблица 3

**Корреляция измерений, полученных в результате многомерного шкалирования и показателей факторов среды и фитоиндикационных шкал**

| Показатели, см                      | Среднее ± ст. ошибка | CV, % | NMDS1 | NMDS2 | NMDS3 | $r^2$ | Pr(>r) | Коды значимости |
|-------------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------------|
| <i>Твердость (в МПа) на глубине</i> |                      |       |       |       |       |       |        |                 |
| 0–5                                 | 0,65±0,02            | 26,84 | –0,16 | –0,53 | 0,83  | 0,04  | 0,28   |                 |
| 5–10                                | 0,95±0,02            | 19,67 | –0,36 | –0,68 | 0,64  | 0,05  | 0,12   |                 |
| 10–15                               | 1,34±0,02            | 18,78 | –0,36 | –0,93 | 0,10  | 0,01  | 0,87   |                 |
| 15–20                               | 1,73±0,04            | 20,73 | –0,96 | –0,16 | –0,21 | 0,03  | 0,45   |                 |

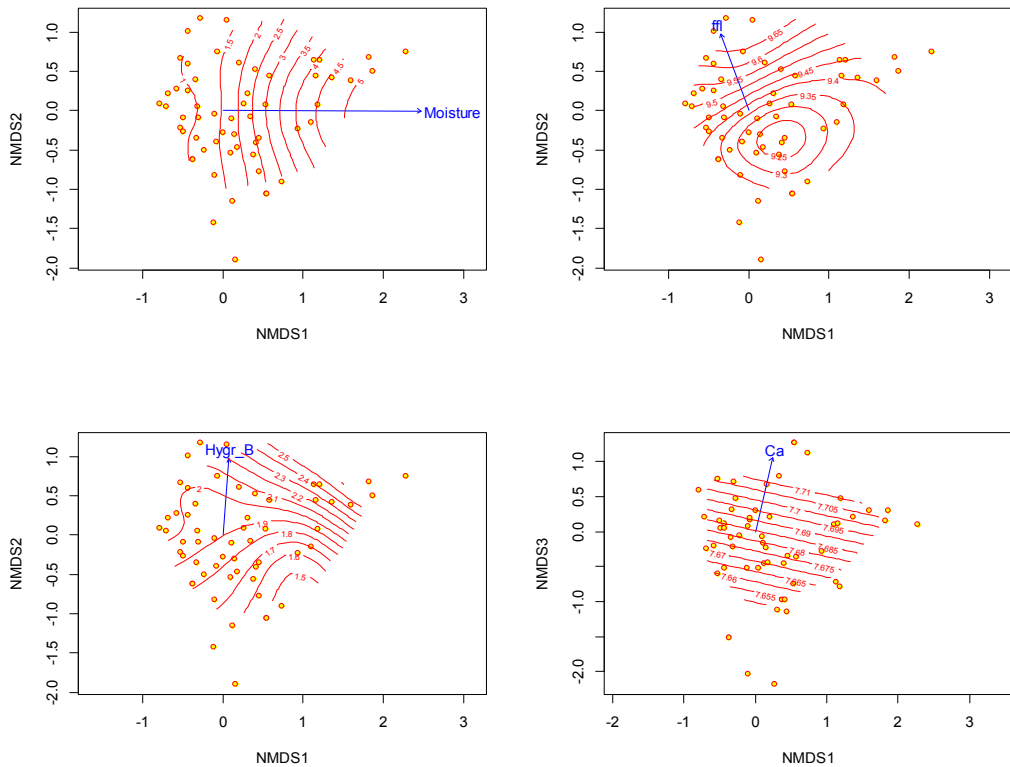
| Показатели,<br>см                                                   | Среднее<br>± ст.<br>ошибка | CV, %  | NMDS1 | NMDS2 | NMDS3 | r <sup>2</sup> | Pr(>r) | Коды<br>значимости |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------|-------|-------|-------|----------------|--------|--------------------|
| 20–25                                                               | 2,11±0,04                  | 21,72  | –0,98 | 0,22  | 0,01  | 0,08           | 0,03   | *                  |
| 25–30                                                               | 2,45±0,06                  | 26,47  | –0,94 | 0,23  | 0,24  | 0,14           | 0,00   | **                 |
| 30–35                                                               | 2,79±0,08                  | 29,77  | –0,91 | 0,25  | 0,32  | 0,18           | 0,00   | ***                |
| 35–40                                                               | 3,05±0,09                  | 28,80  | –0,92 | 0,17  | 0,36  | 0,21           | 0,00   | ***                |
| 40–45                                                               | 3,38±0,08                  | 25,53  | –0,90 | 0,02  | 0,43  | 0,16           | 0,00   | ***                |
| 45–50                                                               | 3,76±0,08                  | 22,71  | –0,91 | –0,16 | 0,39  | 0,16           | 0,00   | **                 |
| 50–55                                                               | 4,16±0,08                  | 19,77  | –0,89 | –0,12 | 0,44  | 0,10           | 0,02   | *                  |
| 55–60                                                               | 4,42±0,07                  | 16,07  | –0,94 | 0,31  | 0,14  | 0,10           | 0,02   | *                  |
| 60–65                                                               | 4,55±0,06                  | 14,25  | –0,82 | 0,57  | 0,00  | 0,05           | 0,14   |                    |
| 65–70                                                               | 4,70±0,06                  | 13,05  | –0,45 | 0,61  | –0,65 | 0,03           | 0,36   |                    |
| 70–75                                                               | 4,73±0,06                  | 12,12  | –0,48 | 0,15  | –0,87 | 0,02           | 0,54   |                    |
| 75–80                                                               | 4,80±0,06                  | 12,92  | –0,79 | –0,08 | –0,61 | 0,02           | 0,60   |                    |
| 80–85                                                               | 4,74±0,06                  | 12,98  | –0,85 | –0,04 | –0,53 | 0,05           | 0,17   |                    |
| 85–90                                                               | 4,75±0,06                  | 12,76  | –0,55 | 0,73  | 0,41  | 0,01           | 0,85   |                    |
| 90–95                                                               | 4,75±0,06                  | 12,09  | –0,88 | –0,46 | –0,13 | 0,04           | 0,20   |                    |
| 95–100                                                              | 4,72±0,05                  | 11,63  | –1,00 | 0,07  | 0,07  | 0,12           | 0,01   | **                 |
| <i>Эдафические характеристики</i>                                   |                            |        |       |       |       |                |        |                    |
| Температура<br>слоя почвы<br>5–7 см, °C,<br>2/07/14<br>в 9 ч 15 мин | 22,72±0,27                 | 12,22  | –0,80 | 0,37  | 0,47  | 0,65           | 0,00   | ***                |
| 8/07/14<br>в 9 ч 45 мин                                             | 22,01±0,30                 | 14,05  | –0,85 | 0,27  | 0,44  | 0,54           | 0,00   | ***                |
| 8/07/14<br>в 11 ч 15 мин                                            | 23,86±0,36                 | 15,54  | –0,91 | 0,39  | 0,11  | 0,55           | 0,00   | ***                |
| Ст. отклонение<br>температуры                                       | 1,50±0,09                  | 59,57  | –0,84 | 0,54  | –0,10 | 0,22           | 0,00   | ***                |
| Влажность<br>почвы, %<br>(Moisture)                                 | 1,78±0,15                  | 85,64  | 1,00  | 0,00  | –0,01 | 0,67           | 0,00   | ***                |
| Плотность<br>почв, г/см <sup>3</sup><br>(Density)                   | 1,39±0,02                  | 14,26  | –0,91 | 0,15  | 0,39  | 0,47           | 0,00   | ***                |
| Гравий 2–<br>3,25 мм<br>(Gravel_1)                                  | 1,46±0,49                  | 342,04 | 0,46  | 0,82  | 0,33  | 0,03           | 0,33   |                    |
| Гравий 1–2 мм<br>(Gravel_2)                                         | 7,61±1,14                  | 153,36 | 0,15  | –0,21 | –0,97 | 0,04           | 0,23   |                    |
| Песок крупный<br>0,5–1 мм (Sand)                                    | 2,34±0,30                  | 129,05 | 0,62  | 0,14  | –0,77 | 0,04           | 0,30   |                    |
| Песок средний<br>0,25–0,5 мм<br>(Silt)                              | 46,71±1,15                 | 25,16  | –0,84 | 0,26  | 0,47  | 0,26           | 0,00   | ***                |
| Песок мелкий<br><0,25 мм<br>(Loam)                                  | 41,00±1,26                 | 31,49  | 0,87  | –0,44 | 0,21  | 0,09           | 0,02   | *                  |

| Показатели,<br>см                                          | Среднее<br>± ст.<br>ошибка | CV, %  | NMDS1 | NMDS2 | NMDS3 | r <sup>2</sup> | Pr(>r) | Коды<br>значимости |
|------------------------------------------------------------|----------------------------|--------|-------|-------|-------|----------------|--------|--------------------|
| Корни, %<br>(Roots)                                        | 13,83±1,37                 | 101,20 | 0,33  | -0,68 | -0,65 | 0,37           | 0,00   | ***                |
| <i>Фитоиндикационные шкалы Я. П. Дидуха [10]</i>           |                            |        |       |       |       |                |        |                    |
| Hd                                                         | 7,74±0,02                  | 2,70   | 0,74  | 0,56  | 0,37  | 0,36           | 0,00   | ***                |
| fil                                                        | 9,42±0,02                  | 1,80   | -0,34 | 0,94  | 0,11  | 0,42           | 0,00   | ***                |
| Rc                                                         | 7,59±0,02                  | 2,29   | 0,98  | 0,02  | -0,19 | 0,48           | 0,00   | ***                |
| Sl                                                         | 6,16±0,02                  | 3,11   | -0,15 | 0,85  | -0,51 | 0,12           | 0,00   | **                 |
| Ca                                                         | 7,68±0,01                  | 1,76   | 0,22  | -0,19 | 0,96  | 0,04           | 0,26   |                    |
| Nt                                                         | 2,87±0,02                  | 6,56   | 0,49  | 0,60  | -0,63 | 0,33           | 0,00   | ***                |
| Ae                                                         | 4,42±0,01                  | 2,01   | 0,61  | 0,53  | -0,59 | 0,25           | 0,00   | ***                |
| Tm                                                         | 9,62±0,01                  | 0,74   | 0,38  | 0,70  | -0,61 | 0,21           | 0,00   | ***                |
| Om                                                         | 10,97±0,01                 | 1,02   | -0,01 | 0,99  | 0,15  | 0,28           | 0,00   | ***                |
| Kn                                                         | 10,09±0,01                 | 1,13   | -0,43 | -0,26 | 0,87  | 0,39           | 0,00   | ***                |
| Cr                                                         | 8,77±0,00                  | 0,57   | 0,23  | -0,89 | 0,39  | 0,05           | 0,21   |                    |
| Lc                                                         | 9,33±0,00                  | 0,32   | 0,39  | 0,92  | 0,00  | 0,29           | 0,00   | ***                |
| <i>Индексы, основанные на экморфах А. Л. Бельгарда [2]</i> |                            |        |       |       |       |                |        |                    |
| Трофоморфы<br>(Troph_B)                                    | 1,30±0,02                  | 12,34  | 0,39  | 0,83  | -0,41 | 0,50           | 0,00   | ***                |
| Гигроморфы<br>(Hygr_B)                                     | 1,93±0,03                  | 15,27  | 0,07  | 0,91  | -0,41 | 0,29           | 0,00   | ***                |
| Гелиоморфы<br>(Hel_B)                                      | 3,94±0,01                  | 2,35   | -0,31 | -0,33 | 0,89  | 0,16           | 0,00   | **                 |
| Пратанты (Pr)                                              | 0,05±0,01                  | 149,16 | 0,14  | -0,32 | 0,94  | 0,01           | 0,85   |                    |
| Псаммофиты<br>(Ps)                                         | 0,68±0,03                  | 41,09  | -0,94 | -0,08 | -0,32 | 0,86           | 0,00   | ***                |
| Сильванты (Sil)                                            | 0,17±0,03                  | 176,57 | 0,97  | 0,17  | 0,18  | 0,89           | 0,00   | ***                |
| Степанты (St)                                              | 0,11±0,01                  | 69,54  | -0,61 | -0,51 | 0,61  | 0,18           | 0,00   | ***                |

**Примечания:** коды значимости – ‘\*\*\*’ – < 0.001; ‘\*\*’ – < 0.01; ‘\*’ – < 0.05; ‘.’ – < 0.1; p-уровень основан на 999 пермутациях.

Показатели твердости почвы позволяют описать от 0,01 до 0,21 от уровня варьирования первых трех измерений, выделенных при многомерном шкалировании, если этот уровень принять за 1. Статистически достоверно твердость начинает оказывать влияние на свойства растительности с глубины 20–25 см и до 55–60 см. Также растительность чувствительна к твердости на глубине 95–100 см. Измерение 1 чувствительно к общему уровню изменчивости твердости почвы в пределах всего измеренного почвенного профиля. Таким образом, это измерение дифференцирует растительность по степени предпочтения более или менее твердых почвенных локусов. Менее твердые локусы (позитивные значения измерения) маркируются комплексом видов, среди которых преимущество имеет *Acer tataricum*, а также *Chelidonium majus*, *Convolvulus arvensis*, *Viola arvensis* и *Polygonatum odoratum*. Почва в сайтах, которые заняты указанными видами, отличается более высокой влажностью (рис. 2), а также меньшей температурой и меньшей её вариабельностью во времени и меньшей плотностью. В почве черно-

кленовых кустов отмечено преобладание крупных (0,5–3,25 мм) и очень мелких фракций (< 0,25 мм), а также корней.



**Рис. 2. Векторы экологических факторов и их изолинии в пространстве осей многомерного шкалирования**

Условные обозначения: см. табл. 1; точками показано размещение видов.

Фитоиндикационные шкалы указывают на то, что измерение 1, выделенное при многомерном шкалировании, связано с относительно повышенной кислотностью почвы, большей аэрированостью и повышенным уровнем азотного питания. Положительные значения измерения 1 указывают на те участки полигона, где преобладают представители лесной ценотической компоненты.

Негативные значения измерения 1 охватывают участок исследуемого полигона, который непосредственно окружает чернокленовые кусты. Таксономическое и экологическое разнообразие оставшегося пространства описывается измерениями 2 и 3.

Значения измерения 2 непосредственно не указывают на особенности сообщества, которые имели бы ценоморфическую составляющую. Это измерение чувствительно к вертикальной дифференциации профиля почвы по значениям твердости. Позитивные значения измерения 2 указывают на участки с преобладанием гравия, а негативные – корней в почве. Фитоиндикационные шкалы указывают на высокую роль вариабельности режима увлажнения (рис. 1), засоления и влажности эдафотопы в определении трендов изменчивости растительности, которые отражаются измерением 2. Аналогичные результаты показывают индексы, основанные на экоморфах А. Л. Бельгарда [2] (рис. 1). Трофоморфы и гигроморфы высокоинформативны в идентификации указанного измерения. Положительные значения измерения 2 соответствует преобладанию в растительном сообществе таких

видов, как *Populus nigra*, *Alyssum minutum*, *Coryza canadensis* и *Centaurea diffusa*. Экологически противоположную группировку формируют *Hieracium umbellatum*, *Dianthus chinensis*, *Achillea millefolium*, *Melilotus officinalis* и *Veronica longifolia*.

Позитивные значения измерения 3 указывают на сайты, в которых растительность имеет преимущественно луговой характер с существенной степной компонентой. Негативные значения в большей степени соответствуют псамофитным компонентам сообщества. Из эдафических свойств с измерением 3 в наибольшей степени связаны такие, как содержание гравия и крупного песка, а также содержание в почве корней. Повышенные значения таких фитоиндикационных шкал, как обеспеченность почвы кальцием (рис. 1) и континентальность, соответствуют позитивным значениям измерения 3. В таких сайтах преобладают *Veronica longifolia*, *Melilotus officinalis*, *Elymus lanceolatus* и *Centaurea borysthethenica*. Тогда как повышенные значения обеспеченности почвы доступными формами азота и содержания в почве солей указывают на негативные значения измерения. В таких эдафических условиях чаще встречаются *Eryngium planum*, *Poa annua*, *Linaria vulgaris* и *Bromus squarrosus*.

Для оценки роли различных компонент в вариабельности организации растительного сообщества были рассчитаны общие и частные тесты Мантеля (табл. 4).

Таблица 4

## Корреляции матриц расстояний (тест Мантеля)

| Матрицы расстояний                                  | Эдафические показатели      | Фитоиндикационные шкалы     |                             |                             | Пространственные координаты |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                                     |                             | Все                         | Климатические               | Эдафические                 |                             |
| <b>Тест Мантеля</b>                                 |                             |                             |                             |                             |                             |
| Растительное сообщество                             | $r = 0,26$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,62$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,37$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,59$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,04$ ,<br>$p = 0,120$ |
| <b>Частный тест Мантеля, управляющие переменные</b> |                             |                             |                             |                             |                             |
| Пространство                                        | $r = 0,26$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,62$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,36$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,59$ ,<br>$p = 0,001$ | –                           |
| Фитоиндикационные шкалы                             | $r = 0,17$ ,<br>$p = 0,004$ | –                           | –                           | –                           | $r = 0,06$ ,<br>$p = 0,053$ |
| Климатические шкалы                                 | $r = 0,22$ ,<br>$p = 0,002$ | –                           | –                           | $r = 0,54$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,03$ ,<br>$p = 0,195$ |
| Эдафические шкалы                                   | $r = 0,19$ ,<br>$p = 0,003$ | –                           | $r = 0,23$ ,<br>$p = 0,001$ | –                           | $r = 0,06$ ,<br>$p = 0,039$ |
| Эдафические показатели                              | –                           | $r = 0,60$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,34$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,57$ ,<br>$p = 0,001$ | $r = 0,04$ ,<br>$p = 0,124$ |

Простой тест Мантеля свидетельствует о том, что экологические факторы, а именно свойства эдафотопы, в наибольшей степени определяют свойства матрицы растительного сообщества, которая является отражением его структуры. Свойства эдафотопы, оцененные с помощью фитоиндикационных шкал являются лучшими предикторами свойств растительного сообщества, чем инструментально измеренные свойства почвы. Измерение свойств среды с помощью фитоиндикационного оценивания для объяснения особенностей структуры растительного сообщества на первый взгляд тавтологично. Однако, полученный результат указывает на координирующую роль экологических особенностей растений в сообществе для неслучайного их распределения в пространстве. Фитоиндикационные шкалы позволяют содержательно интерпретировать измерения, получаемые при многомерном шкалировании. Сами измерения указывают только лишь на наличие организации в растительном сообществе на избранном масштабном уровне.

не. Тогда как фитоиндикация указывает на возможные механизмы формирования этой организации.

Меньшая роль рассмотренных инструментально определенных показателей вполне закономерна, так как перечень эдафических показателей, которые теоретически способны влиять на растительное сообщество, в данном исследовании далеко не полон.

Частный тест Мантеля указывает на то, что пространственные координаты не дают дополнительной информации, которая могла бы объяснить особенности растительного сообщества.

Фитоиндикационные шкалы в качестве управляющей переменной значительно снижают значения теста Мантеля, тогда как в обратной конфигурации эдафические показатели не влияют на тест Мантеля для растительного сообщества и фитоиндикационных шкал. В этом ещё раз отражается более полный характер отображения экологической специфики в терминах фитоиндикационных шкал, чем инструментальных показателей почвенных свойств. Кроме того, частные тесты Мантеля указывают на информационное преимущество фитоиндикационных шкал перед выбранным перечнем почвенных свойств, что свидетельствует о том, что на выбранном масштабном уровне фитоиндикационные шкалы способны давать экологически релевантную информацию.

**Вывод.** Черноключенные кустарники на арене р. Днепр, впервые открытые А. Л. Бельгардом и Т. А. Кириченко в 30-е гг. XX в., представляют собой уникальные естественные группировки, которые требуют особой охраны. Созданный 25 лет назад природного заповедника «Днепровско-Орельский» способствует решению этой задачи, так как основное число таких сообществ сконцентрировано именно на охраняемой территории этой организации. Уникальность черноключенных кустарников состоит в специфической позиции лесной компоненты – на вершинах дюнных холмов. Кроме того, ценоморфические компоненты сообществ имеют четкую биогоризонтную привязанность: древесный и кустарниковый ярусы представлены сивантами, а травостой – степантами, псаммофитами и в меньшей степени – пратантами. Экстремальная экологическая обстановка проявляет себя в высокой степени структурированности сообщества, что выявлено средствами многомерного шкалирования. Растительные группировки, которые находят свое отражение в многомерных измерениях, могут быть интерпретированы с помощью фитоиндикационных шкал. Свойства эдафотопы находятся во взаимосвязи со структурой растительного покрова. Это показано для таких почвенных свойств, как твердость, плотность, влажность и температура почвы, а также агрегатная структура. Тест Мантеля подтвердил приоритетную роль фитоиндикационных шкал в интерпретации структурных единиц растительного покрова.

### Библиографические ссылки

1. Адаптивная стратегия отбора проб для оценки пространственной организации сообществ почвенных животных урбанизированных территорий на различных иерархических уровнях / Ю. А. Балюк, О. Н. Кунах, А. В. Жуков и др. // Биолог. вестник Мелитопол. гос. пед. ун-та им. Богдана Хмельницкого. – 2014. – № 4 (3). – С. 8–33.
2. Бельгард А. Л. Лесная растительность юго-востока УССР / А. Л. Бельгард. – К. : Изд-во КГУ, 1950. – 263 с.
3. Бельгард О. Л. До типології Заплавних лісів середньої течії Дніпра / О. Л. Бельгард, Т. Ф. Кириченко // Збірник робіт біолог. ф-ту. – 1938. – Вип. 2. – С. 129–141.
4. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М., Агропромиздат. – 1986. – 416 с.
5. Жуков О. В. Фітоіндикаційне оцінювання вимірів, отриманих при багатовимірному шкалюванні структури рослинного угруповання / О. В. Жуков // Чорноморський ботаничний журнал. – 2015. – Т. 11. – С. 84–98.



6. Кунах О. Н. Зоо- и фитоиндикация роли автотрофной и гетеротрофной консорций в организации биогеоценоза / О. Н. Кунах, М. В. Трифанова, Д. С. Ганжа // Біолог. вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького – 2014. – № 2. – С. 115–141.
7. *Матвеев Н. М.* Основы степного лесоведения профессора А. Л. Бельгарда и их современная интерпретация / Н. М. Матвеев – Самара : Самар. ун-т, 2011. – 126 с.
8. Пространственная агроэкология и рекультивация земель : моногр. / А. А. Демидов, А. С. Кобец, Ю. И. Грицан, А. В. Жуков. – Д. : Изд-во «Свидлер А.Л.», 2013. – 560 с.
9. *Тарасов В. В.* Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Судинні рослини. Біологоекологічна характеристика видів / В. В. Тарасов. – Д. : Вид-во ДНУ, 2005. – 276 с.
10. *Didukh Ya. P.* The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication / Ya. P. Didukh. – Kyiv : Phytosociocentre, 2011. – 176 p.
11. *Kirby K. N.* BootES: An R package for bootstrap confidence intervals on effect sizes / K. N. Kirby, D. Gerlanc // Behavior Research Methods. – 2013. – Vol. 45. – P. 905–927.
12. *Pennisi B. V.* 3 ways to measure medium EC / B. V. Pennisi, M. van Iersel // GMPro. – 2002. – Vol. 22(1). – P. 46–48.
13. R Core Team. 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.

Надійшла до редколегії 15.09.2015

УДК 581.5(477.56)

**В. М. Зверковський, О. С. Зубкова**

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара*

### **ЖИТТЄВІСТЬ ПОЧАТКОВО СТВОРЕНИХ ЛІСОВИХ КУЛЬТУР НА РІЗНИХ ВАРИАНТАХ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВІДВАЛУ ШАХТИ «ПАВЛОГРАДСЬКА»**

Досліджено лінійні показники росту, життєвість, видовий склад лісових штучних насаджень рекультиваційної ділянки № 1 Західного Донбасу. Охарактеризовано насадження *Robinia pseudoacacia L.*, *Betula pendula Roth.*, *Juniperus virginiana L.*, *Acer platanoides L.* і *Salix alba L.*

Серед розглянутих порід за результатами багаторічного дослідження було встановлено, що насадження *Betula pendula Roth.* і *Salix alba L.* не витримують посушливих умов, які характерні для степової частини України. А насадження *Robinia pseudoacacia L.*, *Acer platanoides L.*, *Juniperus virginiana L.* сформували довговічні насадження, які добре переносять жорсткі умови техногенного середовища. Встановлені середні лінійні показники росту, життєвість і дана оцінка перспективності подальшого використання цих лісових культур у практиці освоєння шахтних відвалів в умовах посушливого степу.

*Ключові слова:* рекультивация, штучні лісові насадження, ріст, життєвість.

**В. Н. Зверковський, Е. С. Зубкова**

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара*

### **ЖИЗНЕННОСТЬ ИЗНАЧАЛЬНО СОЗДАНЫХ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР НА РАЗНЫХ ВАРИАНТАХ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТВАЛА ШАХТЫ «ПАВЛОГРАДСКАЯ»**

Исследованы линейные показатели роста, жизненность, видовой состав лесных искусственных насаждений рекультивационного участка №1 Западного Донба-