



УДК 631.618:633.2.031

Ю. А. Балюк¹, О. Н. Кунах¹, А. В. Жуков^{1,2}, Г. А. Задорожная^{1,2}, Д. С. Ганжа²

**АДАПТИВНАЯ СТРАТЕГИЯ ОТБОРА ПРОБ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СООБЩЕСТВ
ПОЧВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
НА РАЗЛИЧНЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ УРОВНЯХ**

¹Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

²Природный заповедник «Днепровско-Орельский»

В работе приведен алгоритм адаптивной стратегии оптимального размещения отбора проб для изучения пространственной организации сообществ почвенных животных в условиях урбанизации. В качестве управляющих переменных использованы главные компоненты, полученные в результате анализа полевых данных по твердости и электропроводности почв и плотности древостоя, собранных по квазирегулярной сетке. Места расположения экспериментальных полигонов определены с помощью программы ESAP. В пределах экспериментальных полигонов отбор проб производился по регулярной сетке. Биогеоэкологическая оценка полигонов сделана на основе экоморфического анализа А. Л. Бельгарда. Пространственная конфигурация типов биогеоценозов установлена на основе данных дистанционного зондирования земли и анализа цифровой модели рельефа. В результате получен алгоритм, который позволяет выявить особенности пространственной организации сообществ почвенных животных на уровне исследуемой точки, биогеоценоза и ландшафта.

Ключевые слова: адаптивная стратегия, отбор проб, экоморфический анализ, биогеоценоз, почвенные животные

Ю. О. Балюк¹, О. М. Кунах¹, О. В. Жуков^{1,2}, Г. О. Задорожна^{1,2}, Д. С. Ганжа²

**АДАПТИВНА СТРАТЕГІЯ ВІДБОРУ ПРОБ
ДЛЯ ОЦІНКИ ПРОСТОРОВОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ УГРУПОВАНЬ ҐРУНТОВИХ
ТВАРИН УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ НА РІЗНИХ ІЄРАРХІЧНИХ РІВНЯХ**

¹Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

²Природний заповідник «Дніпровсько-Орільський»

У роботі наведений алгоритм адаптивної стратегії оптимального розміщення відбору проб для вивчення просторової організації угруповань ґрунтових тварин в умовах урбанізації. У якості керуючих змінних використані головні компоненти, отримані в результаті аналізу польових даних по твердості й електропровідності ґрунтів і щільності деревостану, зібраних за квазирегулярною сіткою. Місця розташування експериментальних полігонів визначені за допомогою програми ESAP. У межах експериментальних полігонів відбір проб здійснено по регулярній сітці. Біогеоценологічна оцінка полігонів здійснена на основі екоморфічного аналізу О. Л. Бельгарда. Просторова конфігурація типів біогеоценозів установлена на основі

даних дистанційного зондування землі та аналізу цифрової моделі рельєфу. У результаті отриманий алгоритм, що дозволяє виявити особливості просторової організації угруповань ґрунтових тварин на рівні досліджуваної точки, біогеоценозу та ландшафту.

Ключові слова: адаптивна стратегія, відбір проб, екоморфічний аналіз, біогеоценоз, ґрунтові тварини

J.A.Baljuk¹, O.N.Kunah¹, A. V. Zhukov^{1,2}, G.A.Zadorozhnaja^{1,2}, D.S. Ganzha²

**SAMPLING ADAPTIVE STRATEGY AND SPATIAL ORGANISATION
ESTIMATION OF SOIL ANIMAL COMMUNITIES
AT VARIOUS HIERARCHICAL LEVELS OF URBANISED TERRITORIES**

¹*Oles Gonchar Dnepropetrovsk National University*

²*Dneprovsko-Orelysky Nature Reserve*

In work the algorithm of adaptive strategy of optimum spatial sampling for studying of the spatial organisation of communities of soil animals in the conditions of an urbanization have been presented. As operating variables the principal components obtained as a result of the analysis of the field data on soil penetration resistance, soils electrical conductivity and density of a forest stand, collected on a quasiregular grid have been used. The locations of experimental polygons have been stated by means of program ESAP. The sampling has been made on a regular grid within experimental polygons. The biogeocoenological estimation of experimental polygons have been made on a basis of A.L.Belgard's ecomorphic analysis. The spatial configuration of biogeocoenosis types has been established on the basis of the data of earth remote sensing and the analysis of digital elevation model. The algorithm was suggested which allows to reveal the spatial organisation of soil animal communities at investigated point, biogeocoenosis, and landscape.

Keywords: adaptive strategy, sampling, ecomorphic analysis, biogeocoenosis, soil animals

Адаптивный подход для отбора проб использует ранее полученные данные как основу для планирования стратегии дальнейшего отбора проб (Покаржевский и др., 2007). Однако в рамках почвенной зоологии, как, впрочем, и почвенной экологии в целом, адаптивный подход имеет очевидные ограничения, так как почвенные исследования весьма трудоемки, и в рамках полевого тура исследований проблематично получить обратную связь по ключевым параметрам исследования.

Существуют различные подходы для выявления и картирования почвенных условий, которые влияют на иерархическую организацию экосистем (Шеин, 2001; Жуков, 2006; Жуков и др., 2013; Кунах, Балюк, 2013). Для выполнения этой задачи может быть использована интенсивная стратегия отбора почвенных образцов в ячейках регулярной сетки. Однако, такой тип интенсивного сбора данных по ячейкам регулярной сетки является трудозатратным и дорогостоящим, что делает такой подход непрактичным для применения в условиях значительной протяженности изучаемой территории.



Поэтому изучение почвенных животных и эдафических свойств по регулярной сетке проведено только в пределах экспериментальных полигонов.

В работе Francis, Schepers (1997) был применен метод выборочного сбора почвенных образцов для определения границ зон применения удобрений. Определение мест отбора проб производилось на основе сведений о цвете почвы, текстуры, угле наклона поверхности, эрозионных характеристиках. Эдафические свойства влияют на наблюдаемую электропроводность почвы (EC_a), пространственное распределение этого показателя в пределах поля обеспечивает потенциальную возможность картирования пространственной изменчивости эдафических свойств, основываясь на отборе почвенных проб, место отбора которых определяется по EC_a . В случае, когда EC_a коррелирует с определенным почвенным свойством, то EC_a -направленная система сбора образцов позволит установить пространственное распределение этого свойства, а также оптимальное количество и места положения отбора проб для характеристики изменчивости при минимизации трудозатрат (Corwin et al., 2003). Также, если EC_a коррелирует с урожайностью, то EC_a -направленная система отбора образцов может быть использована для идентификации почвенных свойств, которые влияют на изменчивость урожайности (Corwin et al., 2003).

Важно отметить, что геопространственные измерения EC_a сами по себе не могут прямо характеризовать пространственную изменчивость почвенных свойств. В действительности, измерение EC_a дают ограниченную прямую информацию о физико-химических свойствах почвы, которые влияют на урожай, воздействуют на транспорт растворенных веществ или определяют качество почвы. Однако наблюдения за изменением в пространстве EC_a обеспечивают информацией, необходимой для организации сбора агрохимических образцов. Такой подход является экономичным средством для оптимизации сбора данных о почве (Жуков и др., 2013).

Места расположения точек отбора проб и их число могут быть определены на основании таких программных продуктов, как ESAP (Corwin, Lesch, 2005).

В качестве модельного объекта для изучения пространственной организации сообщества почвенных животных выбран парк им. Ю. Гагарина (г. Днепропетровск, ныне часть территории Ботанического сада ДНУ имени Олеся Гончара). В пределах лесопаркового насаждения, которое сформировано на основе естественного байрачного леса, наблюдается комплекс естественных и антропогенных градиентов, что значительно усложняет решение задачи оптимального размещения проб для выявления закономерностей пространственной изменчивости экологической структуры животного населения почвы (Кунах и др., 2013, Жуков и др., 2013). На фоне градиентов трофности и влажности, которые определяют в естественных условиях дифференциацию биогеоценозов, накладываются градиенты рекреационной

нагрузки, химического загрязнения от крупной автодорожной трассы (проспект им. Ю. Гагарина) и малой автодороги (ул. Козакова). Также в тальвеге балки Красноповстанческой произведено замещение естественных почв на сильно техногенно трансформированные – техноземы, что сопряжено со значительной трансформацией рельефа: ручей, который протекает по тальвегу балки, помещен в водосточную трубу и перекрыт мощным слоем строительного мусора (Кабарь, 2003). Таким образом, катенный, или градиентный подход, для организации пространственного размещения «ключевых участков» (полигонов, стационарных пробных площадок), который широко применяется в области изучения естественных биогеоценозов, должен быть значительно усовершенствован для его применения в условиях урбанизированной среды.

Чувствительным индикатором рекреационной нагрузки является твердость почвы. Поэтому для оптимальной организации размещения экспериментальных полигонов в пределах лесопаркового насаждения в качестве «управляющих» переменных совместно с электропроводностью использовались данные по твердости почвы (Медведев, 2008; Жуков, Кунах, 2011).

Целью настоящей работы является разработать практический алгоритм адаптивной стратегии отбора проб для изучения пространственной организации сообществ почвенных животных урбанизированной территории на уровнях различных иерархических уровнях (по Мэгерран, 1991): исследуемой точки, биогеоценоза и ландшафта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Измерение наблюдаемой электропроводности почвы (EC_a) на глубине 0–5 см и (в трехкратной повторности) твердости почвы на глубинах 0–5, 5–10, ..., 45–50 см (в однократной повторности) произведено по квазирегулярной сетке с дистанцией между местами отбора около 30 м. Измерения были сделаны в 163 местах. Время, которое заняли измерения, составило около 7 часов. Общая площадь полигона составила 19,8 га. Таким образом, скорость обследования территории составила 2,83 га/час с плотностью точек обследования 8,24 точек/га или 23,9 точек/час.

Координаты мест отбора проб измеряли с помощью GPS-навигатора Magellan 315. Наблюдатель с фиксированным положением одновременно таким же прибором измерял свои координаты в момент измерения координат в каждом месте измерения почвенных свойств, что позволило производить коррекцию измерения координат для достижения большей точности. Показатели вариабельности (точности) GPS-навигатора Magellan 315 представлены в табл. 1.

Таблица 1. Вариабельность показаний GPS-навигатора Magellan 315 в точке с фиксированным местоположением на протяжении измерений 20

июля 2011 г. с 9:17 до 15:49 по киевскому времени (координаты – UTM, 36 зона).

Координаты	Объем выборки	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка
<i>x</i>	188	651057,07	651000,00	651143,00	21,69	1,58
<i>y</i>	188	537001,54	536840,00	537072,00	33,39	2,44

Стандартная ошибка указывает, на сколько выборочное среднее отличается от среднего генеральной совокупности. Координата *x* характеризуется стандартной ошибкой 1,58 м, а *y* – 2,44 м. Однако, диапазон варьирования измеряемых координат неподвижной станции с помощью GPS-навигатора Magellan 315 составляет 143 и 232 м, несмотря на наличие в этом приборе функции усреднения координат за некоторый промежуток времени. Поэтому импровизированная DGPS – дифференциальная система позиционирования с двумя станциями – одной стационарной и одной подвижной – позволяет получить весьма точные оценки координат мест отбора проб.

На рис. 1 показано размещение мест отбора проб в пределах изучаемой территории.

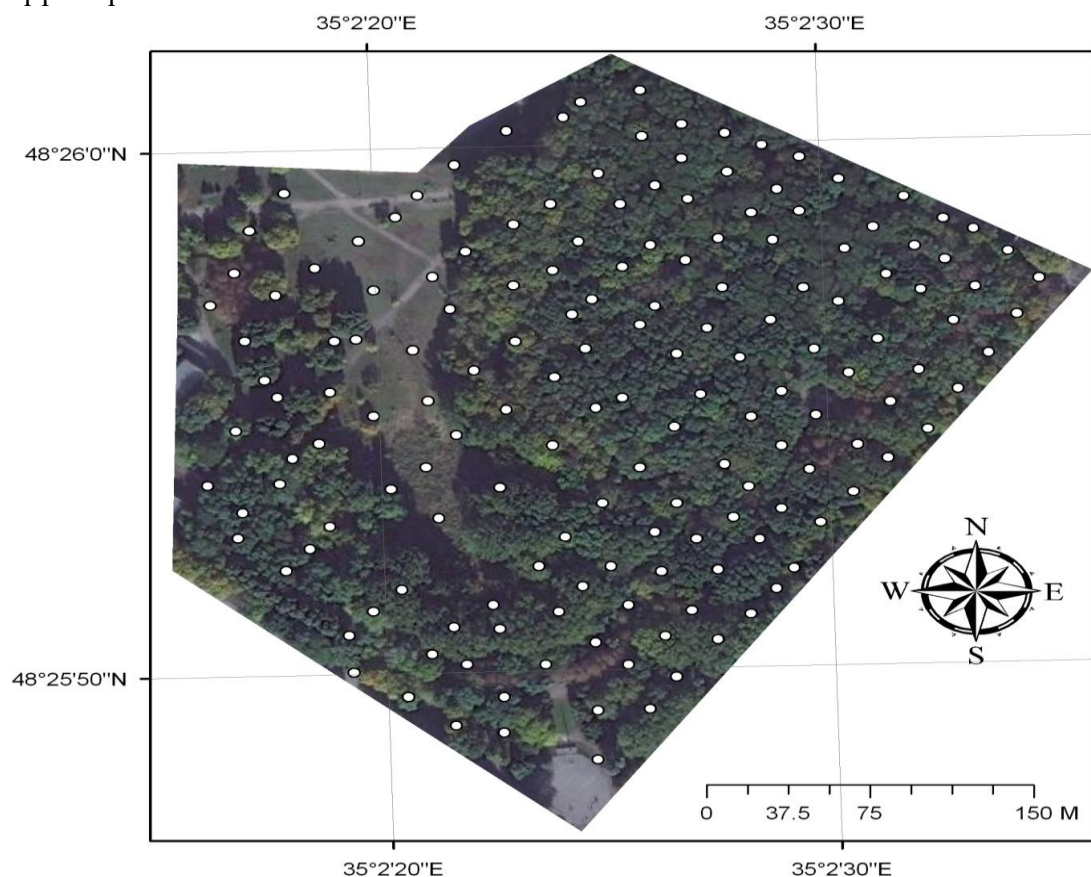


Рис. 1. Пространственное размещение мест отбора проб (точки) в пределах парка им. Ю. Гагарина (г. Днепропетровск).

В настоящей работе использованы материалы с расширенного тематического картографического сканера (*Enhanced Thematic Mapper Plus – ETM+*), установленного на спутнике *Landsat 7* (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data>). В работе использованы производные индексы от прямых значений каналов *Landsat* (детали – в работе Демидова и соавт., 2013). На основе цифровой модели рельефа (ЦМР) были рассчитаны следующие производные геоморфологические параметры изучаемой территории: топографический индекс влажности (TWI); топографический индекс влажности по алгоритму SAGA (TWI_Saga); угол уклона поверхности (*Slope*) и некоторые другие (Демидов и др., 2013).

Статистические расчеты проведены с помощью программы *Statistica 7.0* и программной оболочки *Project R* (<http://www.R-project.org>), геостатистические расчеты проведены с помощью программы *Surfer 11.0*, ГИС-база данных подготовлена с помощью *ESRI ArcMap 10.0*. Характеристика экоморф растений приведена по А. Л. Бельгарду (1950) и В. В. Тарасову (2005), фитоиндикационная характеристика экоморф растений – по Н. М. Матвееву (2001, 2003, 2011). Для модель-основанного определения точек отбора проб в пределах изучаемой территории при изучении пространственной изменчивости почвенных свойств использовалось специализированное программное обеспечение *ESAP* (<http://www.ars.usda.gov/services/software>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сбор материалов позволил установить статистические и геостатистические характеристики твердости и электропроводности почвы в зоне парка, а также густоты древостоя (табл. 2).

Установлено, что твердость почвы варьирует от 2,09 (на глубине 0–5 см) до 3,44 МПа (на глубине 30–35 см), после чего твердость несколько снижается до уровня 3,15–3,29 МПа на глубине 40–50 см. Граничный для корневых систем растений уровень твердости почвы в 3 МПа (Медведев, 2008) превышает в 5 % случаев уже начиная с глубины 15–20 см, что свидетельствует о значительной роли этого показателя в организации растительного сообщества в изучаемой территории. Коэффициент вариации твердости почвы находится в диапазоне 55,28–68,88 %. Высокий уровень вариабельности твердости свидетельствует о неоднородности почвенного покрова и о вероятной его композиции из почвенных единиц различного таксономического статуса. Информация о твердости почвы имеет особое значение для выделения относительно однородных участков, в пределах которых формируются специфические экологические условия для жизни почвенных животных.

Таблица 2. Характеристики почвы и плотности древостоя в парке им. Ю. Гагарина (г. Днепропетровск)

Показатели	Статистики					Геостатистики (экспоненциальная модель)				
	Среднее	Довер. интервал		CV, %	Стандартная ошибка	C ₀	C ₁	C ₀ +C ₁	SDL, %	Радиус влияния, м
		– 95%	+ 95%							
Твердость почвы, на глубине, см, в МПа										
0–5	2,09	1,86	2,31	68,88	0,11	0,01	0,41	0,42	2,38	43,5
5–10	2,28	2,08	2,47	55,28	0,10	0,11	0,55	0,66	16,67	73,5
10–15	2,50	2,27	2,73	59,54	0,12	0,19	1,06	1,25	15,20	105,6
15–20	2,91	2,62	3,21	65,00	0,15	0,25	1,56	1,81	13,81	80,3
20–25	3,05	2,75	3,35	64,07	0,15	0,61	1,85	2,46	24,80	85,7
25–30	3,28	2,95	3,61	65,35	0,17	1,17	2,42	3,59	32,59	86,42
30–35	3,44	3,11	3,78	62,11	0,17	1,51	1,50	3,01	50,17	106,4
35–40	3,40	3,08	3,73	62,44	0,17	0,83	1,52	2,35	35,32	172,1
40–45	3,15	2,86	3,44	59,31	0,15	0,34	2,11	2,45	13,88	173,5
45–50	3,29	3,01	3,57	55,30	0,14	0,41	2,23	2,64	15,53	184,6
Другие показатели										
EC _a	0,59	0,53	0,64	60,44	0,03	0,08	4,52	4,60	1,74	34,0
Tree	2,87	2,55	3,20	73,13	0,16	1,25	3,63	4,88	25,61	85,9
PC1	0,00	–0,40	0,40	–	0,20	0,75	6,83	7,58	9,89	135,0
PC2	0,00	–0,19	0,19	–	0,10	0,09	1,39	1,48	6,08	36,3
PC3	0,00	–0,40	0,40	–	0,20	0,01	1,01	1,02	0,98	25,6

Условные обозначения: N – среднее, SE – стандартная ошибка, CV – коэффициент вариации; C₀ – наггет-эффект; C₁ – частичный порог, SDL – уровень пространственной зависимости (*spatial dependence level*) – $(100 \cdot C_0 / (C_0 + C_1))$ (по Cambardella et al., 1994); EC_a – наблюдаемая электропроводность почвы, дСм/м; Tree – плотность древостоя, штук деревьев в круге, радиусом 5 м; PC1–PC3 – главные компоненты 1–3.

Уровень пространственной зависимости твердости почвы, оцененный по индексу SDL, варьирует от высокого (глубина 0–20 см и 40–50 см) до умеренного (20–40 см). Радиус влияния вариограммы имеет тренд увеличения с глубиной при локальных максимумах на глубине 10–15 и 35–40 см. Это свидетельствует о том, что вертикальные почвенные слои характеризуются различными горизонтальными паттернами пространственной изменчивости.

Электропроводность почвы в среднем составляет 0,59 дСм/м, а коэффициент вариации этого показателя находится на уровне 60,44 %. Начало засоления и угнетения городской растительности диагностируется величиной порядка 2 дСм/м (Смагин и др., 2006). Эта величина определяется в состоянии насыщения почвы влагой. При иссушении до ММВ (максимальной молекулярной влагоемкости), данная величина может увеличиваться в два раза и более, достигая 4 дСм/м (Смагин, 2012).

Критического значения показатели электропроводности достигают лишь в нескольких точках измерения. Эти точки находятся вблизи болотистого участка в верховье отрога балки Красноповстанческой (рис. 1). Этот участок лишен лесной растительности. Более возвышенные участки характеризуются меньшим значением электропроводности. Вблизи проспекта им. Ю. Гагарина наблюдается шлейф локального повышения электропроводности, очевидно

вследствие накопления растворенных солей, которые используются как антифриз в зимнее время.

Плотность древостоя очень сильно варьирует в пределах парка – от 4–8 экз. в пробном участке радиусом 5 м (2,55–5,10 экз./акр) в лесопарковом насаждении до безлесых участков с отдельно стоящими деревьями. На плотность древостоя в лесопарковом насаждении сильное влияние оказывает рекреация – в зонах с интенсивной сетью асфальтовых и грунтовых пешеходных дорожек плотность значительно ниже.

Комплекс изученных показателей был подвержен анализу главных компонент для снижения размерности признакового пространства (табл. 3).

Таблица 3. Анализ главных компонент показателей почвы и плотности древостоя в парке им. Ю. Гагарина, г. Днепропетровск (показаны факторные веса, превышающие 0,3 по модулю)

Показатели	PC 1	PC 2	PC 3
Твердость почвы на глубине, см, в МПа			
0–5	–0,63		0,53
5–10	–0,78	–0,36	0,34
10–15	–0,83	–0,37	
15–20	–0,80	–0,43	
20–25	–0,83	–0,33	
25–30	–0,84		
30–35	–0,83		
35–40	–0,81	0,50	
40–45	–0,83	0,47	
45–50	–0,82	0,43	
Другие показатели			
Log_EC		–0,41	–0,77
log_Tree	0,36		
Собственные числа и вариация			
Собственные числа	6,56	1,50	1,13
% общей вариации	54,71	12,47	9,38
Кумулятивный %	54,71	67,18	76,56

Условные обозначения: см. табл. 1

Целью анализа главных компонент является получить переменные, которые в интегральной форме отражают основные взаимозависимости признаков. Такими переменными являются главные компоненты.

Главные компоненты 1–3 описывают 76,56 % общей дисперсии признакового пространства, а 1–2 – 67,18 %. Главная компонента 1 отражает противоположную зависимость между твердостью на всех изученных глубинах и густотой древостоя: участки с более высокой густотой древостоя

характеризуються меншою твердістю ґрунту. Слід відзначити, що електропровідність не пов'язана з цією основною компонентою і, таким чином, не в стані маркувати відповідний тренд біогеоценологічного покриву. Просторова змінюваність основної компоненти 1 характеризується високим рівнем просторової залежності – індекс SDL становить 9,89 %, а радіус впливу знаходиться на рівні 135,0 м.

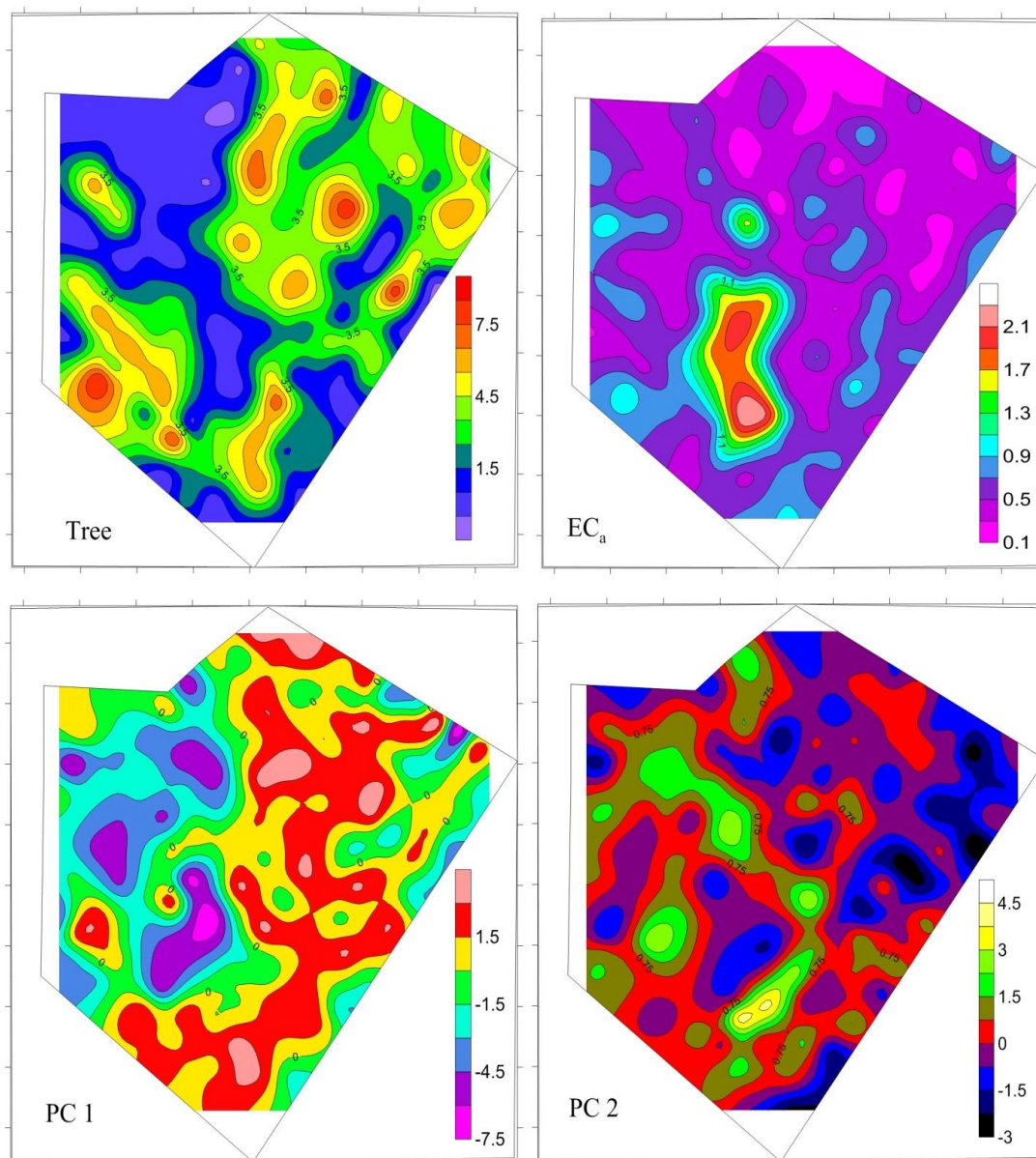


Рис. 2. Просторова варіабельність густоти ґрунтового покриву (Tree), електропровідності ґрунту (EC) і перших двох головних компонент (PC 1 і PC 2)

Главная компонента 2 указывает на обратную динамику твердости почвы на глубинах 5–25 см с одной стороны и 35–50 см – с другой. Эта компонента указывает на тренд увеличения твердости на малых глубинах и сопряженное увеличение электропроводности почвы. Эта компонента не зависит от густоты древостоя. Уровень пространственной зависимости этой компоненты очень высок – SDL составляет 6,08 %. Радиус влияния – 36,3 м. Указанные особенности главной компоненты 2 и характер пространственной изменчивости позволяют интерпретировать её как маркер рекреационной нагрузки. Анализ рисунка 2 свидетельствует о том, что минимальные значения главной компоненты 2, которые соответствуют максимальной твердости верхних почвенных слоев и электропроводности, наблюдаются в местах наиболее густой сети пешеходных дорожек в парке.

Главная компонента 3 свидетельствует о снижении электропроводности почвы при увеличении её твердости в слоях 0–10 см. Можно предположить, что вариабельность влажности верхнего почвенного горизонта является причиной возникновения паттерна, который нашел своё выражение в форме главной компоненты 3. Пространственная составляющая изменчивости главной компоненты 3 очень высока ($SDL = 0,98 \%$), радиус влияния составляет 25,6 м. Очевидно, что вариабельность эдафических свойств, которые описываются главной компонентой 3, является крупномасштабной, поэтому использовать эту компоненту для определения оптимального размещения совокупности экспериментальных полигонов не является целесообразным. Иначе говоря, соответствующий тренд в наилучшей степени может быть изучен на более низком масштабном уровне, который соответствует уровню отдельного экспериментального полигона.

Таким образом, нами выделены две главных компоненты, которые в полной мере отражают важнейшие пространственные тренды эдафических свойств, что необходимо для обоснования оптимального размещения экспериментальных полигонов в пределах изучаемой территории.

Программа ESAP использует план отбора проб, основанный на пространственной модели поверхности отклика (*spatial response surface sampling – SRSS*). Алгоритм SRSS позволяет определить место расположения минимального количества точек отбора почвенных проб на основании информации о пространственном изменении величины электропроводности почвы. Мы предлагаем в качестве переменных, на основании которых работает алгоритм, использовать не просто данные о электропроводности почвы, а интегральные переменные – главные компоненты.

Важно отметить следующие обстоятельства. Как свидетельствуют полученные результаты, вариабельность электропроводности почвы определяется двумя главными компонентами – 2 и 3, которые являются ортогональными, или независимыми переменными. Это свидетельствует о

сложном характере факторов, которые определяют динамику электропроводности почвы. Информационная значимость индикатора, который показывает изменчивость нескольких независимых факторов, невелика. В тоже время, главные компоненты 1 и 2, которые предложено использовать для алгоритма SRSS, как следствие особенности анализа главных компонент, являются независимыми, поэтому каждая из них несет дополнительную информацию, которая не дублируется.

Также важной особенностью главных компонент (1–3) является тот факт, что они характеризуются значительно более высокой степенью пространственной детерминированности, чем большинство из измеренных переменных. Результаты применения алгоритма SRSS на основании использования главных компонент 1 и 2 как управляющих переменных представлены на рис. 3.

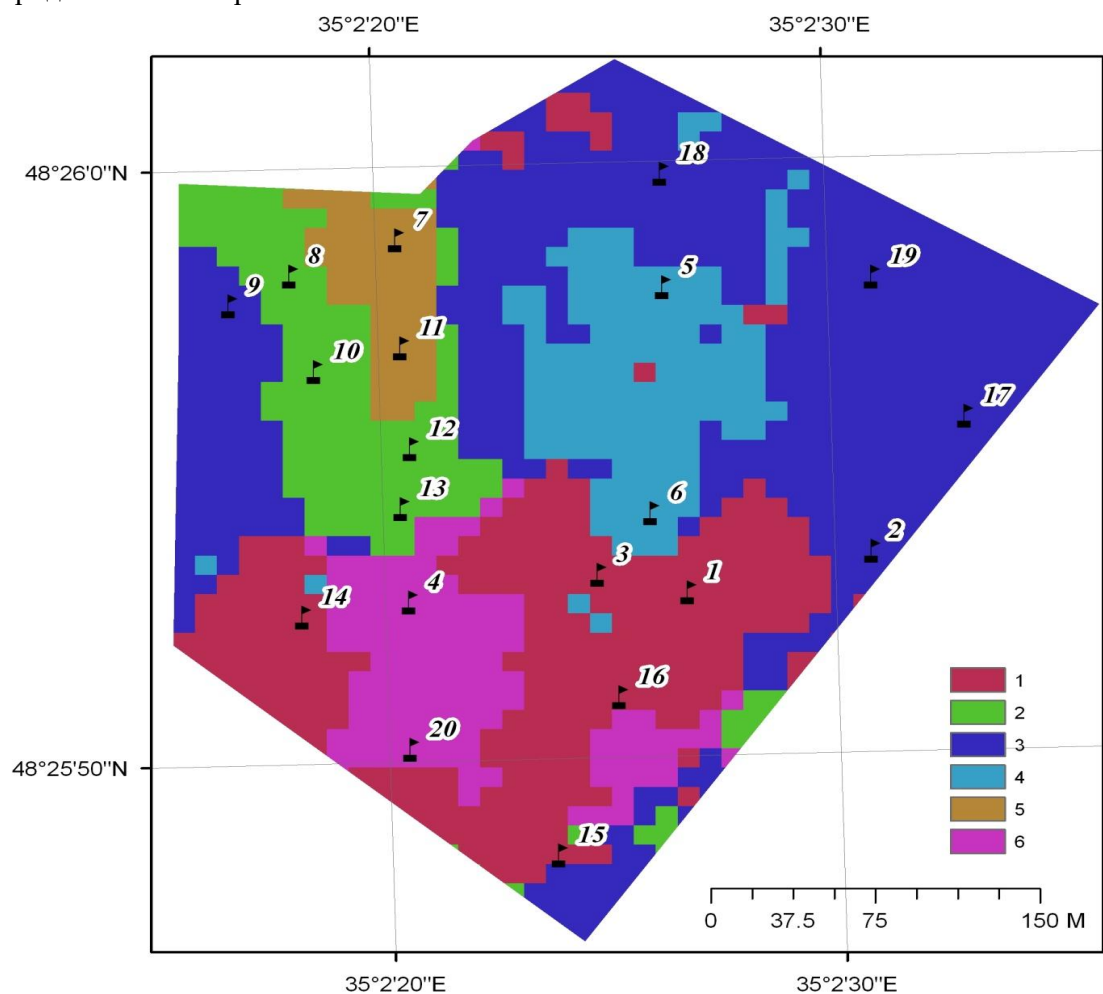


Рис. 3. Расположение экспериментальных полигонов (указаны флажками с нумерацией) и конфигурация основных биогеоценологических единиц (кластеров) (1–6 – нумерация кластеров)

Использование алгоритма SRSS на основе интегральных переменных – главных компонент, дало возможность разместить 20 экспериментальных полигонов с целью выявления особенностей пространственной изменчивости на различных масштабных уровнях. Каждый из полигонов состоит из 105 почвенно-зоологических проб размером $0,25 \times 0,25$ м (рис. 3), таким образом, общий объем выборки по изучаемой территории составляет 2100 проб. При квазиравномерном размещении этого числа проб одна проба приходилась бы на $94,2$ м². Такая плотность соответствует среднему линейному интервалу между пробами $9,7$ м, что можно рассматривать как меру соответствующего масштаба. Однако помимо масштаба следует рассматривать ещё размер пробы как характеристику репрезентативности выборки. Так, А. Д. Покаржевский и соавт. (2007) показали, что снижение размера почвенно-зоологической пробы совместно с увеличением их числа значительно увеличивает статистическую значимость получаемых оценок сообщества почвенных животных при соразмерных усилиях. Однако вряд ли можно признать, что проба размером $0,25 \times 0,25$ м будет состоятельной отразить особенности животного населения на участке размером $94,2$ м², иначе говоря, проба составит 1 часть из 15070.

Иерархическая организация отбора проб значительно изменяет ситуацию. Полигон размером 7×15 проб с расстоянием 2 м между пробами займет 420 м². Расстояние 2 м характеризует масштаб изучения пространственной изменчивости сообщества почвенных животных. Суммарная площадь почвенно-зоологических проб составит $6,56$ м², что соответствует 1 части на 64. Такая выборка представительна для оценки видового разнообразия и обилия сообщества почвенных животных в целом и, кроме того, такая модель отбора проб позволяет выявить закономерности пространственной изменчивости сообщества. Эти закономерности позволяют интерполировать характеристики сообщества на участки, которые не были охвачены непосредственным разбором проб в пределах экспериментального полигона.

В среднем один из 20 экспериментальных полигонов представляет $1/20$ часть изучаемой территории площадью 9890 м² ($197796/20$ м²). Как отмечалось, один полигон занимает площадь 420 м², что дает отношение площади репрезентативного участка к площади полигона как $23,5:1$. Такое соотношение значительно отличается от варианта с квазирегулярным распределением почвенно-зоологических проб по участку.

Важной задачей является выявление типологически (в понимании А. Л. Бельгарда) однородных участков изучаемой территории. Для этой цели нами был применен метод фитоиндикации. Характеристика экоморфических спектров растительности экспериментальных полигонов представлена в табл. 4.

Таблица 4. Экоморфические спектры растительности экспериментальных полигонов в парке им. Ю. Гагарина, г. Днепропетровск (данные представлены в долях от 1 проективного покрытия)



№ полигона	Ценоморфы				Трофо морфы		Гигроморфы			Гелиоморфы		
	Pr	Ru	Sil	St	MgT r	MsT r	MsK s	KsM s	Ms	HeS c	ScH e	He
1	0,02	0,02	0,93	0,03	0,10	0,90	0,15	0,03	0,82	0,08	0,85	0,07
2	–	0,08	0,85	0,08	0,54	0,46	0,15	0,31	0,54	0,08	0,77	0,15
3	–	–	1,00	–	0,11	0,89	0,08	0,05	0,87	–	0,92	0,08
4	0,69	0,01	0,27	0,01	0,74	0,17	0,07	0,14	0,75	0,02	0,92	0,06
5	0,05	–	0,94	0,02	0,27	0,71	0,10	0,35	0,55	0,05	0,92	0,03
6	0,03	0,01	0,96	–	0,28	0,71	0,04	0,10	0,85	0,16	0,82	0,01
7	0,43	0,30	–	0,24	0,71	0,29	0,22	0,65	0,08	–	0,46	0,54
8	0,39	0,05	0,46	0,10	0,39	0,56	0,10	0,51	0,37	0,12	0,78	0,10
9	–	–	0,83	0,17	0,50	0,50	0,17	0,50	0,33	–	0,83	0,17
10	0,49	0,08	0,36	0,06	0,32	0,59	0,08	0,38	0,54	0,01	0,74	0,24
11	0,22	–	0,02	0,73	0,70	0,22	0,64	0,25	0,08	–	0,20	0,80
12	0,41	0,04	0,15	0,41	0,37	0,56	0,33	0,33	0,30	0,04	0,59	0,37
13	0,50	0,03	0,27	0,19	0,49	0,48	0,13	0,50	0,35	0,01	0,86	0,13
14	0,02	–	0,96	0,02	0,06	0,91	0,08	0,08	0,83	0,04	0,91	0,06
15	0,01	–	0,98	0,01	0,07	0,92	0,03	0,01	0,94	0,03	0,94	0,03
16	0,02	0,01	0,76	0,21	0,07	0,91	0,24	0,04	0,71	0,15	0,82	0,03
17	0,06	–	0,82	0,12	0,14	0,82	0,14	0,12	0,73	0,63	0,27	0,10
18	0,03	0,01	0,90	0,06	0,39	0,61	0,06	0,36	0,58	0,23	0,74	0,03
19	0,08	0,02	0,84	0,06	0,29	0,69	0,10	0,26	0,65	0,48	0,40	0,11
20	0,89	–	0,10	0,01	0,94	0,04	0,03	0,03	0,93	–	0,97	0,03

Анализ представленных данных свидетельствует о широком разнообразии экологических условий, представленных в пределах изучаемой территории. Экспериментальными полигонами охвачены станции с лесной, луговой и степной растительностью в различных соотношениях – от моноценозов до амфиценозов. Трофоморфы представлены мегатрофами и мезотрофами от практически полного доминирования мезотрофов до полного преобладания мегатрофов. Гигроморфический спектр находится в диапазоне от суховатых (преобладание ксеромезофилов) до свежих (преобладание мезофилов) условий. Световой режим находится в диапазоне от переходного между полутеневым и полуосветленным (паритет гелиосциофитов и сциогелиофитов) до осветленного (доминирование гелиофитов).

Экспериментальные полигоны характеризуются некоторой степенью подобия экоморфических структур, что позволяет предполагать принадлежность нескольких полигонов к одному типу биогеоценоза (типу леса либо типу лесорастительных условий для безлесых участков). Выявление

отношений подобия/различия проведено с помощью процедуры иерархического кластерного анализа (рис. 4).

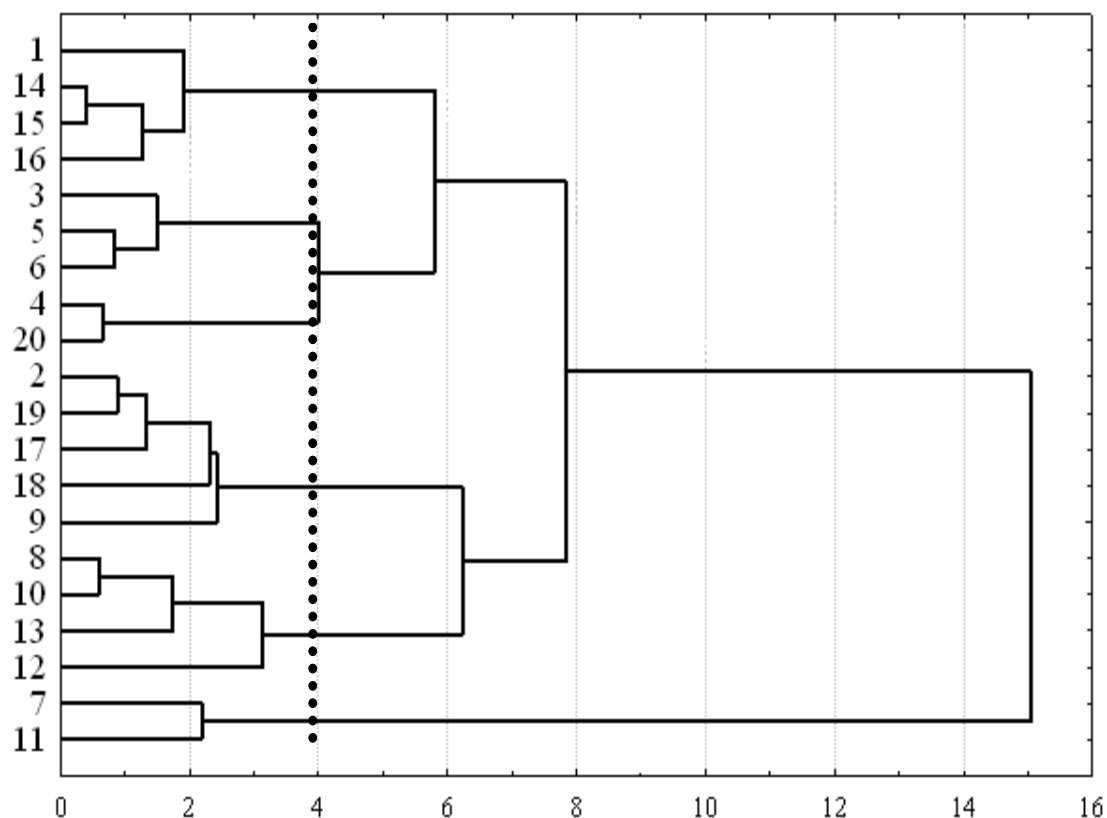


Рис. 4. Кластерный анализ полигонов по экоморфическим спектрам растительности

(мера подобия – коэффициент Пирсона, правило амальгамации – метод Варда); вертикальная штрих-линия показывает уровень выделения 6 кластеров; по оси абсцисс – уровень различия, по оси ординат – нумерация экспериментальных полигонов.

Кластерный анализ позволил выделить 6 кластеров экспериментальных полигонов, которые отличаются подобием биогеоценотической обстановки в пределах кластера и отличием – между кластерами. Для визуализации отношений подобия/различия, подтверждения достоверности различия экологических особенностей кластеров и выявления основных трендов, которые эти отношения определяют, проведен дискриминантный анализ кластерного решения (рис. 1, табл. 1). Дискриминантные функции отражают основные экологические особенности, которые дифференцируют биогеоценотический покров в пределах изучаемой территории. Дискриминантная функция 1 характеризует градиент ценотических отношений лугового типа круговорота

веществ (позитивные значения функции) и лесного типа круговорота (негативные значения функции). На ценоотические взаимоотношения накладываются режимы трофности (мегатрофный луговой и мезотрофный лесной).

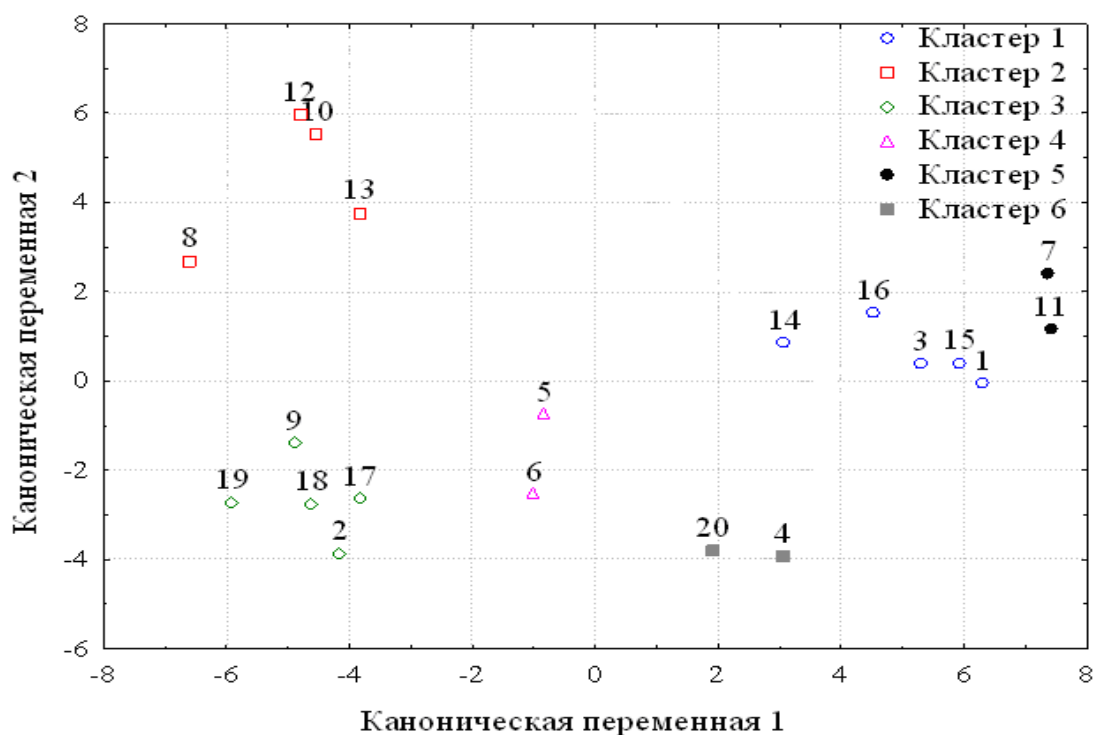


Рис. 5. Расположение полигонов в дискриминантном пространстве. Дискриминантная функция 2 разделяет лугово-лесные амфиценозы и луговые моно- либо псевдомоноценозы.

Таблица 5. Факторная структура дискриминантных функций

Экоморфы	Функция 1	Функция 2	Функция 3
Pr	0,13	-0,31	-0,02
Ru	0,03	0,02	0,03
Sil	-0,18	0,15	-0,08
St	0,04	0,04	0,04
MgTr	0,12	-0,08	-0,01
MsTr	-0,14	0,11	0,02
MsKs	0,03	0,04	0,07
KsMs	0,04	0,04	-0,14
Ms	-0,08	-0,08	0,07
HeSc	-0,01	0,04	-0,09
ScHe	-0,05	-0,08	0,02
He	0,10	0,08	0,12

Проведенные кластерный и дискриминантные анализы позволяют объединить 20 экспериментальных полигонов (число 20 – произвольное, которое определяется таким субъективным обстоятельством, как методическая и практическая возможность их изучить) в 6 единиц типов биогеоценозов, существование которых является объективным и отражает структуру биогеоценоотического покрова.

Биогеоценотический диагноз определяет местоположение экосистемы в экологическом пространстве. Следующей важной задачей является определение местоположения и конфигурации биогеоценотического объекта в пространстве. Следует отметить, что именно отсутствие границ в пределах фитоценоза и определяет границы биогеоценоза. Для решения поставленной задачи мы использовали корреляцию между спектральными особенностями поверхности Земли, получаемыми при дистанционном зондировании и пространственным размещением географических объектов на земной поверхности.

В местоположениях центроидов экспериментальных полигонов произведено измерение («экстракция» значений растровых слоев) признаков, полученных либо путем непосредственных полевых изысканий с последующим геостатистическим моделированием, либо признаков, полученных с помощью дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Из полевых данных, это рассмотренные ранее твердость и электропроводность почвы, а также густота древостоя. Из данных ДЗЗ – это два блока данных: цифровая модель рельефа (ЦМР) и её производные – топографический индекс влажности (TWI) и индекс риска эрозии (LS), а также индексы, полученные на основе мультиспектральных снимков Landsat – NDVI, GreenNDVI, NDWI – рис. 6 (детали – Демидов и др., 2013; Жуков и др., 2013).

Таким образом получена обучающая выборка, которая использована для проведения классификации методом опорных векторов. Анализ выполнен в среде *R* с помощью библиотеки *kernelab* (Karatzoglou et al., 2004), функция *ksvm*, тип – "*C-svc*" (С-классификация), ядро – "*anovadot*". На основании обучающей выборки проведена классификация всех точек растра, которые отражают изучаемую территорию. В результате получена конфигурация типов биогеоценозов (кластеров), представленная на рис. 6. Каждый из кластеров характеризуется некоторой степенью однородности растительного покрова, эдафических свойств, измеренных в полевых условиях, спектральных характеристик, которые могут быть получены при дистанционном зондировании Земли и геоморфологических особенностей.

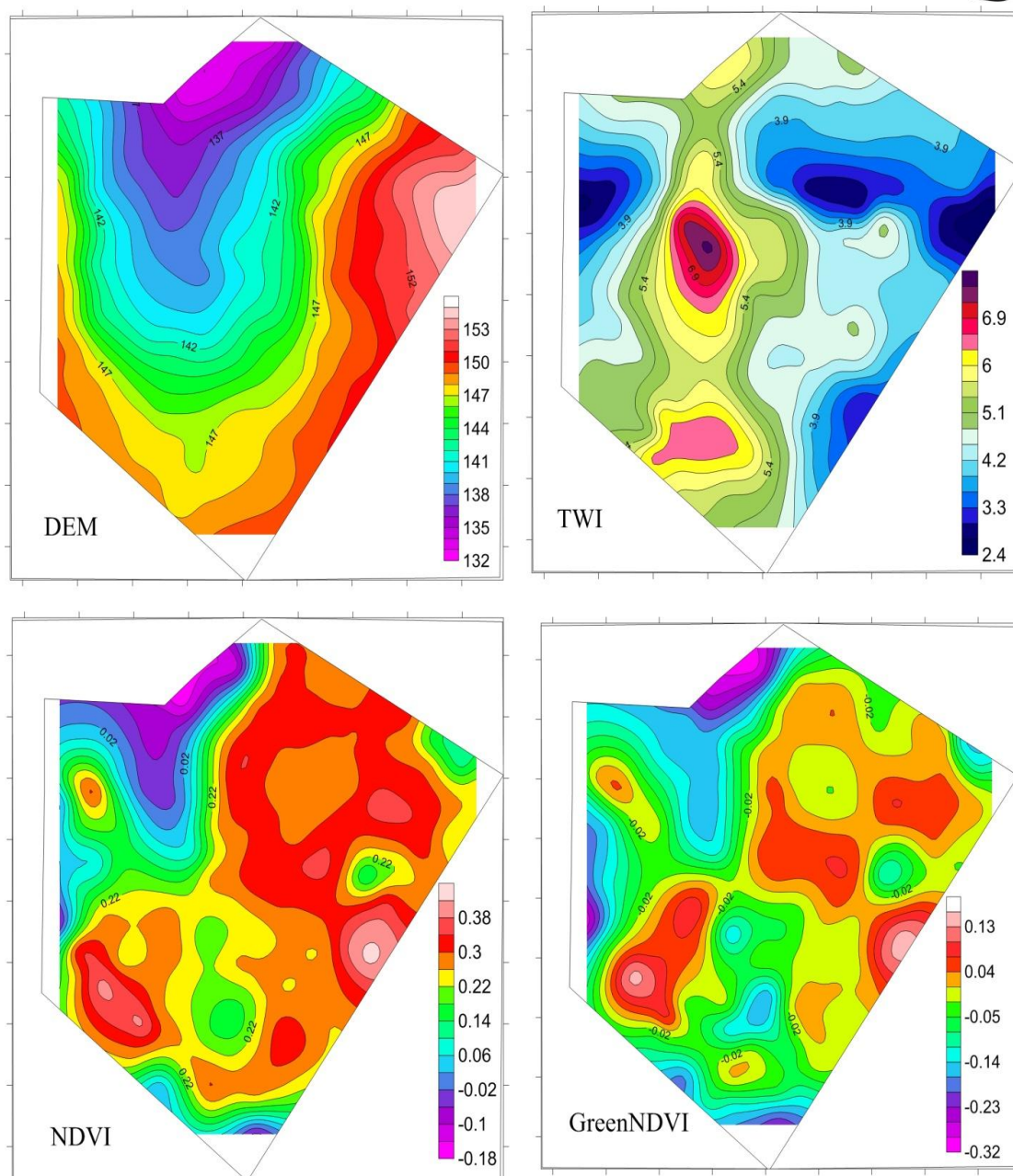


Рис. 6. Цифровая модель рельефа (DEM), пространственная вариабельность топографического индекса влажности (TWI), нормализованного дифференциального вегетационного индекса (NDVI) и индекса GreenNDVI

Эти обстоятельства в комплексе позволяют оценивать установленные участки как обособленные типы биогеоценозов. Экологическое содержание типов биогеоценозов установлено нами с помощью экоморфического анализа растительности по А. Л. Бельгарду (1950). Экоморфические спектры этих типов представлены в табл. 6.

Таблица 6. Экоморфические спектры основных типов биогеоценозов (БГЦ)

Экоморфы и площадь участков	Типы БГЦ (кластеры)					
	1	2	3	4	5	6
Ценоморфы						
Pr	0,01	0,45	0,03	0,04	0,33	0,79
Ru	0,01	0,05	0,02	0,01	0,18	0,02
Sil	0,93	0,31	0,85	0,95	0,01	0,19
St	0,05	0,19	0,10	0,01	0,49	0,01
Трофоморфы						
MgTr	0,09	0,39	0,37	0,28	0,71	0,84
MsTr	0,91	0,55	0,62	0,71	0,25	0,11
Гигроморфы						
MsKs	0,11	0,16	0,12	0,07	0,43	0,05
KsMs	0,04	0,43	0,31	0,23	0,45	0,09
Ms	0,83	0,39	0,56	0,70	0,08	0,84
Гелиоморфы						
HeSc	0,06	0,04	0,28	0,11	0,00	0,01
ScHe	0,89	0,74	0,60	0,87	0,33	0,94
He	0,05	0,21	0,11	0,02	0,67	0,05
Площадь						
Площадь участков, га	3,85	3,43	9,17	1,38	0,73	1,23
Доля от общей площади, %	19,44	17,32	46,36	6,99	3,68	6,20

Анализ данных, приведенных в табл. 6, позволяет дать биогеоценотический диагноз выделенным кластерам.

Кластер 1 является мезотрофным (на среднебогатых почвах) мезофильным (свежим) лесным моноценозом с полуосветленным световым режимом – D_{ac} 2. Занимает 19,44 % исследуемой площади.

Кластер 2 является мега-мезотрофным (переходные почвы между среднебогатыми и богатыми почвами) ксеромезофильным (свежеватым) лесолуговым с элементами остепнения амфиценозом с полуосветленным световым режимом – 2,5СГ_{1,5}. Занимает 17,32 % исследуемой площади.

Кластер 3 является мега-мезотрофным (переходные почвы между среднебогатыми и богатыми почвами) мезофильным (свежим) лесным псевдомоноценозом с элементами остепнения с полуосветленным световым режимом – D_n 2. Занимает 46,36 % исследуемой площади.

Кластер 4 является мега-мезотрофным (переходные почвы между среднебогатыми и богатыми почвами) мезофильным (свежим) лесным моноценозом с полуосветленным световым режимом – D_n 2. Занимает 6,99 % исследуемой площади.



Кластер 5 является мегатрофным (на богатых почвах) переходным между мезоксеро- и ксеромезофильным (между суховатым и свежаватым режимом влажности) лугово-степным амфиценозом со значительной рудеральной компонентой с осветленным световым режимом – ЗСГ_{1,25}. Занимает 3,68 % исследуемой площади.

Кластер 6 является мегатрофным (на богатых почвах) мезофильным (свежим) лесо-луговым амфиценозом с полуосветленным световым режимом – Д_п2. Занимает 6,20 % исследуемой площади.

Вслед за Мэгарран (1992) для изучения пространственного размещения почвенных животных нами выделены следующие иерархические уровни пространственного распределения.

Уровень исследуемой точки – уровень «на котором работает исследователь, придя в поле» (размерность < 10¹ м²). Как отмечают А. Д. Покаржевский и соавт. (2007): «Именно на уровне исследуемой точки выявляется базовая связь между компонентами среды, как биотическими, так и абиотическими». В нашем случае исследуемой точкой является почвенно-зоологическая проба размером 0,25×0,25 м. В пределах этой точки проведено измерение экологических характеристик среды – твердости, электропроводности и температуры почвы, высоты травостоя, мощности подстилки и в некоторых случаях – дистанцию от ближайшего дерева. Размерность этого уровня составляет в нашем исследовании составляет 0,0625 м².

Уровень биогеоценоза (размерность – 10² – 10⁴ м²) – обладает внутренней структурой и упорядоченностью взаимоотношений между его компонентами (Покаржевский, 2007). Комплексный анализ позволил установить размерность биогеоценозически однородных участков в диапазоне 0,73–9,17 10⁴ м². Изменчивость сообществ почвенных животных на нижней границе диапазона размерностей уровня биогеоценоза изучена с помощью заложения полигонов, пробы в которых расположены по регулярной сетке и имеют площадь 4,2 10² м². В пределах полигонов может быть изучена пространственная изменчивость сообщества почвенных животных. В границах каждого типа биогеоценоза заложено 2–4 таких полигонов. Каждый полигон представляет некоторый паттерн пространственной организации. Можно предположить, что в пределах каждого типа биогеоценоза сообщества почвенных животных характеризуются подобными паттернами пространственной изменчивости. Определенные с помощью комплексной методики границы биогеоценозов формируют верхнюю границу диапазона размерности уровня биогеоценоза. В рамках нашего подхода сообщество почвенных животных на верхней границе диапазона размерности рассматривается как однородное в пределах биогеоценоза и пространственный аспект затрагивает только общую площадь и конфигурацию территории, которую занимает биогеоценоз.

Уровень ландшафта формируется мозаикой биогеоценотических единиц (размерность 10^7 – 10^9 м²). В нашем случае мы имеем дело с фрагментом приводораздельно-балочной ландшафтной системы, которая вследствие этого имеет масштабную размерность $1,9 \cdot 10^5$ м². Пространственный контекст на ландшафтном уровне создается площадью, формой и взаимным расположением биогеоценотических единиц, а также экотонными эффектами, которые возникают при их взаимодействии. Экотонные эффекты также могут быть отслежены при изучении пространственных паттернов в пределах отдельных полигонов, пробы в которых расположены по регулярной сетке, если в качестве пространственной переменной будут учитываться дистанции от границы между биогеоценозами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Бельгард А. Л. Лесная растительность юго-востока УССР / А. Л. Бельгард // Киев.: Изд-во КГУ, 1950. – 263 с.
- Бельгард А. Л. Степное лесоведение / А. Л. Бельгард // М.: Лесная промышленность, 1971. – 336 С.
- Демидов А. А. Пространственная агроэкология и рекультивация земель: монография / Демидов А.А., Кобец А.С., Грицан Ю.И., Жуков А.В. – Днепропетровск: Изд-во «Свидлер А.Л.», 2013. – 560 с.
- Жуков А. В. Иерархическая организация экологического разнообразия растительности техноземов / А. В. Жуков, О. Н. Кунах, Г. А. Задорожная, Е. В. Андрусевич // Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького. – 2013. – Т. 9, № 4. – С. 37–47.
- Жуков А. В. Иерархическая организация и разнообразие животного населения почвы поймы // Пит. степ. лісознавства та лісової рекультивації земель. – Дніпропетровськ. – 2006. – Вип. 10 (35). – С. 170–184.
- Жуков А. В., Кунах О. Н. Твердость дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2011, № 1. – С. 63–69.
- Кабарь А. Н. Биолого-экологические свойства почвенного покрова ботанического сада Днепропетровского национального университета (становление, развитие, рациональное использование) / А. Н. Кабарь // Дис. на соиск. уч. степени канд. биол. наук. Днепропетровск. – 2003. – 203 с.
- Кунах О. Н. Пространственное варьирование экоморфической структуры почвенной мезофауны урбазема / О. Н. Кунах, А. В. Жуков, Ю. А. Балюк // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2013. – Том 26 (65), № 3. – С. 107–126.
- Кунах О. Н. Иерархическая модель отбора проб для изучения пространственной организации сообществ почвенной мезофауны урбанизированных территорий / О. Н. Кунах, Ю. А. Балюк // Zoocenosis–2013.



Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах VII Міжнародна наукова конференція. Україна, Дніпропетровськ, ДНУ, 22–25.10.2013 р. – С. 143–144.

Кунах О. Н. Пространственная организация сообщества почвенных мезопедобионтов в условиях рекреационной нагрузки в лесопарковом насаждении / О. Н. Кунах, А. В. Жуков, Ю. А. Балюк // Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького. – 2013. – Том 3, № 3. – С. 274–286.

Матвеев Н. М. Основы степного лесоведения профессора А. Л. Бельгарда и их современная интерпретация / Н. М. Матвеев / Самара: Самарский университет, 2011. – 126 с.

Матвеев Н. М. Количественные оценки экоморфного состава лесонасаждений в степной зоне / Н. М. Матвеев // Проблемы устойчивого функционирования лесных экосистем. – Ульяновск: Изд-во Ульяновского ун-та, 2001. – С. 118–122.

Матвеев Н. М. Оптимизация системы экоморф растений А.Л. Бельгарда в целях фитоиндикации экотопа и биотопа / Н. М. Матвеев // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2003. – Т. 2. Вип. 11. – С. 105–113.

Медведев В. В. Твердость почвы / В. В. Медведев / Харьков. – Изд. КП «Городская типография». – 2009. – 152 с.

Мэгаран Э. Экологическое разнообразие и методы его измерения / Э. Мэгаран / М.: Мир. – 1992. – 184 с.

О. В. Жуков, О. М. Кунах, Ю. О. Балюк Просторове варіювання екоморфної структури ґрунтової мезофауни лісопаркового насадження (на прикладі парку в межах м. Дніпропетровська) // Вісник Львівського національного університету. Серія Біологічна. – 2014. – Вип. 65. – С. 224–237.

Покаржевский А.Д. Пространственная экология почвенных животных / А. Д. Покаржевский, К. Б. Гонгальский, А.С. Зайцев, Ф.А. Савин. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 174 с.

Смагин А. В. Теория и практика конструирования почв / А. В. Смагин / Москва: Издательство Московского университета, 2012. – 542 с.

Смагин А.В. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий / А.В. Смагин, Н.А. Азовцева, М.В. Смагина, А.Л. Степанов, А.Д. Мягкова, А.С. Курбатова // Почвоведение. – 2006. – № 5. – С. 603–615.

Тарасов В. В. Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Судинні рослини. Біологоекологічна характеристика видів / В. В. Тарасов // Д.: Вид-во ДНУ, 2005. – 276 с.

Шеин Е. В. Пространственная неоднородность свойств на различных иерархических уровнях – основа структуры и функций почв / Е. В. Шеин, Е. Ю. Милановский // Масштабные эффекты при исследовании почв. – М. : МГУ, 2001. – С. 47–61.

- Cambardella C. A. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils / C. A. Cambardella, T. B. Moorman, T.B. Parkin et al. // Soil Science Soc. Am. – 1994. – Vol. 58. – P. 1501–1511.
- Corwin D.L. Assessment and field-scale mapping of soil quality properties of a saline-sodic soil / D.L. Corwin, S.R. Kaffka, J.W. Hopmans, Y. Mori, S.M. Lesch, J.D. Oster // Geoderma. – 2003. – Vol. 114(3–4). – P. 231–259.
- Corwin D.L. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture / D.L. Corwin, S.M. Lesch, // Comp. Electron. Agric. – 2005. – Vol. 46. – P. 11–43.
- Francis D. D. Selective soil sampling for site- Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and specific nutrient management / D. D. Francis, J. S. Schepers // Soil Soc. Am. J. – 1997. – Vol. 53. – P. 119–126.
- Karatzoglou A. Kernlab – An S4 Package for Kernel Methods in R / A. Karatzoglou, A. Smola, K. Hornik, A. Zeileis // Journal of Statistical Software. 2004. – 11(9). – P. 1–20. URL <http://www.jstatsoft.org/v11/i09/>

REFERENCES

- Belgard, A.L. (1950). Forest vegetation of the south-eastern Ukraine. Kiev: Kiev State University.
- Belgard, A.L. (1971). Steppe Forestry. Moscow: Forest Industry.
- Demidov, A.A., Kobets, A.S., Gritsan, Yu.I., Zhukov, A.V. (2013). Spatial agricultural ecology and soil recultivation. Dnepropetrovsk: A.L. Svidler Press.
- Zhukov, A.V., Kunah, O.N., Zadorozhnaja G.A., Andrushevich, E.V. (2013). Hierarchy of ecological diversity of industrial soil plants. Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi State Pedagogical University. 3(3). 37–47.
- Zhukov, A.V. (2006). Hierarchy and diversity of delta animals. Steppe forestry and soil forest recultivation. 10 (35), 170–184.
- Zhukov, A.V., Kunah, O.N. (2011). Firmness of sod-litogenous soil in loess loams. Bulletin of Dnepropetrovsk State Agrarian University. 1, 63–69.



- Kabar, A.N. (2003). Biological and ecological features of soil cover in Botanical garden of Dnepropetrovsk State University (formation, development, sustainable use). Doctoral dissertation. Dnepropetrovsk.
- Kunah, O.N., Zhukov, A.V. Baljuk, J.A. (2013). Spatial variation of ecomorphological structure of soil mesofauna of industrial soil. Scientific transactions of Vernadskiy Tavrian National University. Series Biology and Chemistry. 26 (65), 107-126.
- Kunah, O.N., Baljuk, J.A. (2013). Hierarchical model of sampling for study of spatial organization of soil mesofauna communities in urban areas. Zoocenosis-2013. Proceed. VII Intern. Sc. Conf. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovsk State University.
- Kunah, O.N., Zhukov, A.V. Baljuk, J.A. (2013). Spatial organization of soil mesobiont community under recreation pressure in forest-park stand. Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi State Pedagogical University. 3(3). 274-286.
- Matveev, N.M. (2011). Modern interpretation of steppe forestry basic by Professor Belgard. Samara: Samara University.
- Matveev, N.M. (2001). Quantitative estimation of forest stands ecomorphic composition in steppe area. In Problems of stable function of forest ecosystems. Ulyanovsk: Ulyanovsk University Press.

- Matveev, N.M. (2003). Optimization of Belgard plant ecomorphic structure for phytoindication of biotope and ecotype. Bulletin of Dnepropetrovsk University. Biology. Ecology. 2 (11), 105–113.
- Medvedev, V.V. (2009). Soil firmness. Kharkov: Municipal Press edition.
- Magguran, A.E. (1992). Ecological diversity and its measurement. Moscow: Mir.
- Zhukov, O.V., Kunah, O.M., Baljuk, J.O. (2014). Spatial variation of ecomorphological structure of soil mesofauna in forest-park stand (the case of Dnepropetrovsk city park). Bulletin of Lviv National University. Biological Series. 65, 224–237.
- Pokarzhevskiy, A.D., Gongalskiy, K.B., Zaycev, A.S., Savin, F.A., (2007). Spatial ecology of soil animals. Moscow: Community of scientific publications.
- Smagin, A.V. (2012). Theory and practice of soil formation. Moscow: Moscow University Press.
- Smagin, A.V., Azovtseva, N.A., Smagina, M.V., Stepanov, A.L., Miagkova, A.D., Kurbatova, A.S. (2006). Some criteria and estimation methods of soil ecological conditions regards to greenery of urban areas. Soil Sciences. 5, 603–615.
- Tarasov, V.V. (2005). Flora of Dnepropetrovsk and Zaporozhye regions. Vascular Plants. Biological and ecological characteristics of species. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovsk National University.



- Shein, Ye.V., Milanovski, Ye.Yu. (2001). Spatial non-uniformity at various hierarchical levels as basis of soil composition and structure. In Significant effects at soil research. Moscow: Moscow State University.
- Cambardella, C. A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Novak, J.M., Turco, R.F., Konopka, A.E. (1994). Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Soc. Am. 58, 1501–1511.
- Corwin, D.L., Kaffka, S.R., Hopmans, J.W., Mori, Y., Lesch, S.M., Oster, J.D. (2003). Assessment and field-scale mapping of soil quality properties of a saline-sodic soil. Geoderma. 114(3–4), 231–259.
- Corwin, D.L., Lesch, D.L. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Comp. Electron. Agric. 46, 11–43.
- Francis, D. D., Schepers, J.S. (1997). Selective soil sampling for site- Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and specific nutrient management. Soil Sci. Soc. Am. J. 53, 119–126.
- Karatzoglou, A., Smola, A., Hornik, K., Zeileis, A. (2004). Kernlab – An S4 Package for Kernel Methods in R. Journal of Statistical Software. 11(9), P. 1-20.

Поступила в редакцію 30.08.2014

Как цитировать:

Балюк, Ю.А., Кунах, О.Н., Жуков, А.В., Задорожная, Г.А., Ганжа, Д.С. (2014). Адаптивная стратегия отбора проб для оценки пространственной организации сообществ почвенных животных урбанизированных территорий на различных иерархических уровнях. *Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого*, 4 (3), 8-33.

crossref <http://dx.doi.org/10.7905/bbmsspu.v4i3.892>

© Балюк, Кунах, Жуков, Задорожная, Ганжа, 2014

Users are permitted to copy, use, distribute, transmit, and display the work publicly and to make and distribute derivative works, in any digital medium for any responsible purpose, subject to proper attribution of authorship.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 3.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/).