

УДК (631.4:502.3:504.5):574

О. І. Кравченко, А. В. Негалюк, Н. О. Непошивайленко, О. О. Карпенко

Дніпродзержинський державний технічний університет

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ПРОМИСЛОВОЇ УРБОСИСТЕМИ, ЗАСНОВАНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТАХ БІОІНДИКАЦІЇ РОЗВИТКУ РОСЛИН РОДУ *POPULUS*

Проведено оцінку якості навколишнього середовища в промисловому м. Дніпродзержинськ за показниками флуктуючої асиметрії листової пластини та ступенем ураженості тканини листової пластини для дерев роду *Populus*. Встановлено умови якісного стану довкілля в промисловій, селітебній та рекреаційній зоні міста. Розроблено електронну аналітичну карту стану забруднення урбанізованої території та проведено оцінку територіального забруднення в межах міста, використовуючи інструменти програмного продукту ArcGIS 9.2.

Ключові слова: біоіндикація, довкілля, статистичні методи, електронна карта.

О. И. Кравченко, А. В. Негалюк, Н. О. Непошивайленко, О. О. Карпенко

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОМЫШЛЕННОЙ УРБОСИСТЕМЫ, ОСНОВАННЫЙ НА РЕЗУЛЬТАТАХ БИОИНДИКАЦИИ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ РОДА *POPULUS*

Проведена оценка качества окружающей среды в промышленном г. Днепродзержинск по показателям флуктуирующей асимметрии листовой пластинки и степени поражения ткани листовой пластинки для деревьев рода *Populus*. Определены условия качественного состояния окружающей среды в промышленной, жилой и рекреационной зоне города. Разработана электронная аналитическая карта загрязнения урбанизированной территории и проведена оценка территориального загрязнения в пределах города, используя инструменты программного продукта ArcGIS 9.2.

Ключевые слова: биоиндикация, окружающая среда, статистические методы, электронная карта.

O. I. Kravchenko, A. V. Negaluk, N. O. Neposhivailenko, O. O. Karpenko

INDUSTRIAL URBOSYSTEM GEOINFORMATION MONITORING BASED ON THE RESULTS OF GENUS *POPULUS* PLANT DEVELOPMENT BIOINDICATION

An assessment of environment quality in the industrial city of Dneprodzerzhinsk based on fluctuating asymmetry in terms of lamina and the degree of tissue lamina for the trees kind Genus *Populus* is made. The conditions of quality of the environment in the industrial, residential and recreational area of the city are determined. An electronic analytical map of pollution of urbanized area and assessment of the spatial pollution within the city, using the tools of the software product ArcGIS 9.2, is developed.

Keywords: bioindication, environment, statistical methods, electronic map.

Вступ. Біологічна оцінка середовища представляється пріоритетною, оскільки може показати стан, самопочуття різних видів живих організмів при дії різних антропогенних чинників. Білатеральні симетричні ознаки дуже зручні при вивченні нестабільності розвитку, оскільки ознака на обох сторонах організму розвивається за ідентичних умов довкілля, унаслідок чого очікуються однакові фенотипи на лівій і правій стороні. Будь-які відхилення від строгої симетрії можуть розглядатися при оцінці нестабільності розвитку тоді, коли антропогенні чинники не можуть бути розділені. Тому стабільність розвитку характеризується рівнем флуктуючої асиметрії морфологічних структур.

Дослідження стану довкілля за допомогою рослин, які зростають на урбанізованих територіях та постійно відчувають на собі негативний техногенний вплив, є одним з найбільш доступних методів якісної оцінки навколишнього середовища. З використанням геоінформаційних технологій подібні дослідження набувають більшої актуальності та поширення у різних науково-практичних сферах. За допомогою отриманих результатів досліджень складають електронні карти спостереження за станом навколишнього середовища, встановлюють джерела виникнення та осередки розповсюдження небезпечних антропогенних чинників в просторі, спостерігають за поточними та довготривалими змінами у дов-

кіллі, а також складають прогнози щодо подальшого розповсюдження техногенних факторів у просторі та їх впливу на складові довкілля.

Вихідні передумови. Актуальною задачею для промислового міста Дніпродзержинська є постійний моніторинг та оцінка якості навколишнього середовища, оскільки у місті, що має площу близько 140 км², працює тільки чотири стаціонарних поста спостереження за якістю атмосферного повітря, пересувний моніторинг проводиться виключно за замовленням в окремих частинах міста, а служби спостереження за станом довкілля на основних промислових підприємствах міста, підпорядковуючись департаменту екології та природних ресурсів Дніпропетровської обласної державної адміністрації, не висвітлюють інформацію щодо реального їх впливу на селітебну частину міста. Тому, запропонована оцінка якості довкілля за життєвим розвитком рослин роду *Populus*, що зростають по всій території міста, як найбільш розповсюджених у місті деревних рослин, з метою розробки аналітичної карти міста, що відображає якісний стан навколишнього середовища. Життєвий стан рослин роду *Populus* досліджено за морфологічними змінами у будові листа рослин (показники флуктуючої асиметрії листової пластини та ступінь ураженості тканини листової пластини).

Мета дослідження — провести оцінку якісного стану навколишнього середовища в межах

м. Дніпродзержинська за морфологічними змінами у будові листа рослин роду *Populus*, що зростають у різних частинах міста, задля розробки електронної аналітичної карти відображення якісного стану навколишнього середовища, яку можна використувати для проведення комплексний екологічного моніторингу урбанізованої території та виявлення осередків забруднень в межах міста.

Задачи дослідження:

- 1) визначити показники флуктуючої асиметрії листової пластини рослин роду *Populus*,
- 2) визначити показники ступеню ураженості тканини листової пластини,
- 3) оцінити стан навколишнього середовища в межах м. Дніпродзержинська,
- 4) розробити електронну аналітичну карту стану забруднення урбанізованої території,
- 5) оцінити територіальне забруднення в межах м. Дніпродзержинська, використовуючи інструменти Geostatistical Analyst програмного продукту ArcGIS 9.2.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводились протягом 2012–2013 рр. в межах м. Дніпродзержинська та включали об'єкти озеленення промислової, селітебної та рекреаційної зони, в межах яких закладено 21 дослідна ділянка, площею 100 м². Місце розташування всіх ділянок в межах міста приведено на рисунку 1.

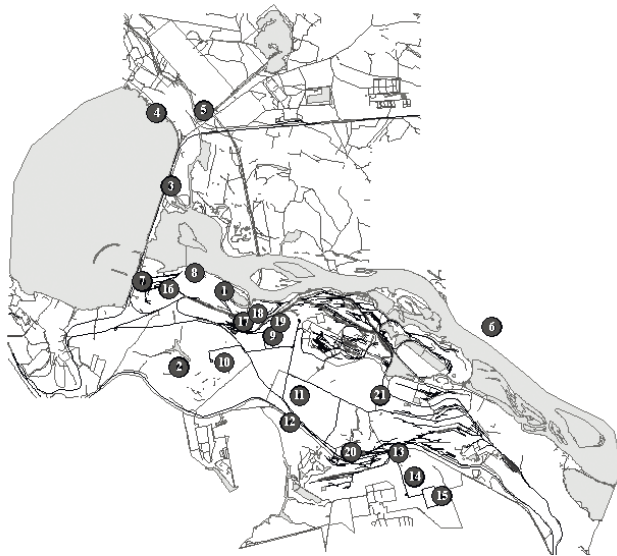


Рис. 1. Розташування дослідних ділянок в межах м. Дніпродзержинськ

За місцем розташування обрані дослідні ділянки характеризують напрям господарського використання, а отже і забруднення території. Отже ділянки 3–5, розташовані у лівобережній частині міста та віднесені до селітебно-рекреаційних територій. Схожими на них є ділянки 1–2, розташовані в правобережній частині міста на узбережжі р. Дніпро та південній околиці міста.

Селітебна частина міста характеризується дев'ятьма ділянками з номерами 7–15 та розосереджена правобережною частиною міста з повільним

вибором дислокації ділянок, проте з однаковою рівномірною щільністю зростання рослин-індикаторів.

Промислова зона досліджувалась за шістьма ділянками з номерами 16–21, причому ділянки №№ 16–19 розташовані переважно в центральній частині міста, які безпосередньо межують з житловими кварталами. Ділянки №№ 20–21 розташовані суто в промисловій зоні, які віддалені від житлової забудови та формують найзабруднену частину міста.

Окрім дослідних ділянок на території міста закладено контрольну ділянку (№ 6) — в межах 20-ти кілометрової зони від границь міста в межах Дніпровсько-Орільського природного заповідника.

За отриманими результатами досліджень визначено, що показник забрудненості в м. Дніпродзержинськ перевищує показники граничнодопустимих [1], окрім ділянки № 6 — Дніпровсько-Орільський природний заповідник, яку визначено як найбільш екологічно безпечну, тому результати отримані для цієї ділянки встановлено за умовний еталон (у даному конкретному випадку).

Отримані значення морфологічних змін у будові листа рослин (показники флуктуючої асиметрії листової пластини та ступінь ураженості тканини листової пластини) дерев промислової зони міста коливаються в межах 0,078–0,097, що виділяє ці показники серед інших як найбільш високі, що спричиняється близьким розташуванням до промислових майданчиків. За бальною шкалою промислова зона має оцінку V балів та характеризується вкрай несприятливими екологічними умовами, рослини тут знаходяться в сильно пригніченому стані. На ділянках № 7–15, розташованих в межах селітебної зони міста, досліджувані показники є відносно меншими, оскільки зазначені ділянки віддалені від промислових об'єктів. За бальною системою селітебна зона відносяться до сильно забрудненої, має оцінку IV бали. Для ділянок, розташованих в межах рекреаційної зони, величина асиметрії значно нижче, ніж для попередніх. Це обумовлено відсутністю промислових підприємств та великою кількістю дерев на даних територіях. В межах рекреаційної зони показники нижче ніж в промисловій та селітебній зоні, але залишаються високими. За бальною системою рекреаційна зона відносяться до умовно забрудненої (оцінка II бали), де рослини випробовують слабкий вплив несприятливих чинників.

Як було раніше зазначено, дослідження проводились протягом двох років. При порівнянні результатів спостережень встановлено, що якість навколишнього середовища у 2013 р. в межах промислових об'єктів у порівнянні з 2012 р. дещо прокрашується, на що вказує зменшення усереднених показників морфологічних ознак листа рослин у 2013 р., що свідчить про поліпшення екологічного стану в межах досліджених об'єктів або через ефективне впровадження природоохоронних заходів на промислових об'єктах, або через скорочення обсягів виробництва. Проте, екологічний стан в межах селітебних і рекреаційних зон

спостерігається сталим — значення дослідних показників протягом двох років спостережень не змінюються. Отриманий результат свідчить про наявність в межах селітебних і рекреаційних зон впливу антропогенних факторів непромислового характеру. Тобто на якісний стан навколишнього середовища в межах даних ділянок впливають місцеві антропогенні фактори, що позначаються на життєвих формах рослин роду *Populus*. Серед таких факторів можуть бути автомобільний транспорт, місцеві звалища побутового сміття, а також постійна недбалість місцевих комунальних служб за зеленими насадженнями міста.

З метою встановлення характеру змін між дослідженими параметрами морфологічних ознак листа рослин протягом дослідженого інтервалу часу, використовуючи інструменти Geostatistical Analyst [2], побудовано гістограми розподілу отриманих результатів, що наведені на рисунку 2.

У наведених діалогових вікнах використаного інструмента відображається частотний розподіл набору даних і обчислена сумарна статистика. Частотний розподіл являє собою стовпчасту діаграму для відображення частотності влучення спостережуваних значень у певні інтервали або класи.

З наведених гістограм встановлено, що для результатів флюктуючої асиметрії розподіл є дзвіноподібним, тому що значення середнього арифметичного й медіани близькі, цей розподіл близький до нормального. Подібне трактування не можна спостерігати для результатів ураженої тканини листа, для якого не визначено чітко виокремлених екстремальних значень. Проте наведені гістограми дозволяють оцінити частоту повторюваності результатів,

що чітко позначається в часовій динаміці кожного показника, що оцінюється.

Отже, результати флюктуючої асиметрії розподіляються таким чином, що для 2012 р. усереднений результат $6,9/7,9 \cdot 10^{-2}$ має близько 20% випадків, а у наступному році результатів з таким значенням вже понад 30%, а також для 2013 р. спостерігається звуження діапазону отриманих результатів та виокремлення двох провідних діапазонів результатів вимірів, за якими отримано понад 60% результатів, що свідчить про більш високий ступінь якості отриманих результатів та мінімізацію випадкових результатів вимірів, які досягнуто шляхом розширення діапазону та щільності відбору матеріалу досліджень.

Отримані показники ураженої тканини листа в часовій динаміці мають дещо іншу інтерпретацію, а саме: розподіл результатів за кластерами діапазону не ущільнюється зі встановленням єдиних кластерів, а навпаки розпорошується по встановленим кластерам; спостерігається перегрупування нових кластерів та перерозподіл їх кількісних значень; спостерігається зсув отриманих результатів до кластерів з низькими показниками та виключення кластерів з високими, що свідчить про поліпшення показників якості стану довкілля в межах дослідженої селітебної території.

За результатами проведених досліджень розроблено електронну карту забруднень м. Дніпродзержинська, яку створили шляхом нанесення місць розташування дослідних ділянок та зростання на них дерев роду *Populus* на існуючу електронну карту міста [3] в програмному продукті ArcMap 9.2. Тобто створено новий шар, який відображає місця зростання дерев, для яких досліджено параметри морфологічних ознак листа рослин.

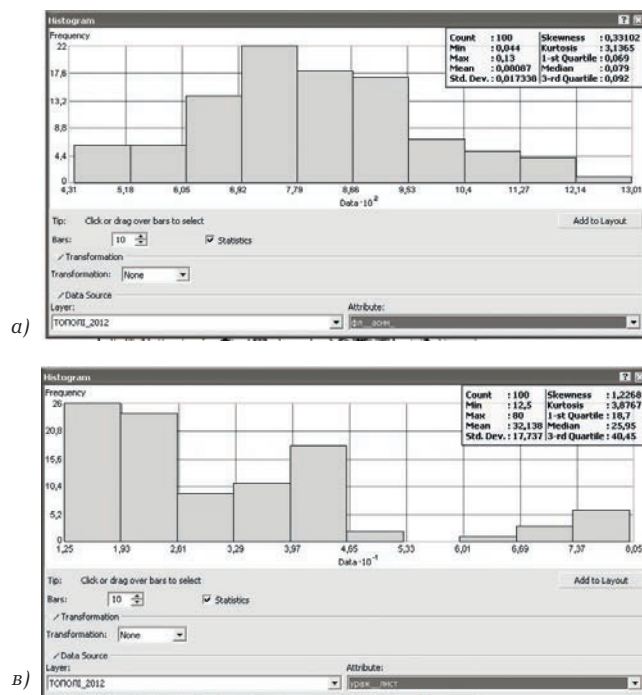


Рис. 2. Гістограми розподілу результатів флюктуючої асиметрії (А, Б) та ураженої тканини листа (Б, Г).
А, Б — дослідження 2012 р., Б, Г — дослідження 2013 р.

Використовуючи даний просторовий набір даних, побудували поверхні з використанням методу зважених відстаней (IDW) (рис. 3). Метод IDW припускає, що поверхня отримана на основі локальної варіації. Застосування цього методу пояснюється рівномірним розподілом опорних точок по території. За отриманими аналітичними картами встановлено два основних забруднюючих центри на території міста — центральна частина міста та район Соцміста. Проте результати моделювання для 2013 р., які містять більш розгалужену мережу досліджених ділянок при зниженні досліджених параметрів в промисловій зоні, більш конкретизують та виокремлюють забруднені зони міста.

В роботі також використали метод ординарного крігінга, за допомогою якого можливо візуально вивчити дані, представивши їх в картографічному виді і побудувати поверхню, яка дозволить визначити, як налаштування параметрів може вплинути на результуючу поверхню. На рис. 4 приведено аналітичні

карти стану забруднення навколишнього середовища у 2013 р., побудовані методом ординарного крігінга згідно результатів флюктуючої асиметрії (А) та ураженої тканини листа (Б). Отримані карти повторюють попередні результати моделювання та виокремлюють центри особливого забруднення в межах міста, при цьому останні карти є більш гладкішими з відсутністю різкого перерозподілу досліджених параметрів. Так як і в попередній групі карт, простежується більш уявна картина про екологонебезпечні ділянки міста для даних 2013 р., обумовлена більш значним обсягом вихідних даних.

Слід зазначити, що обидва методи доцільно використовувати для розробки аналітичних карт, зокрема карт, що представляють територіальний розподіл показників, які вказують на ступінь забруднення довкілля. Згідно аналітичних карт, можна спостерігати й обґрунтовано прогнозувати екологічно небезпечні зони промислового міста.

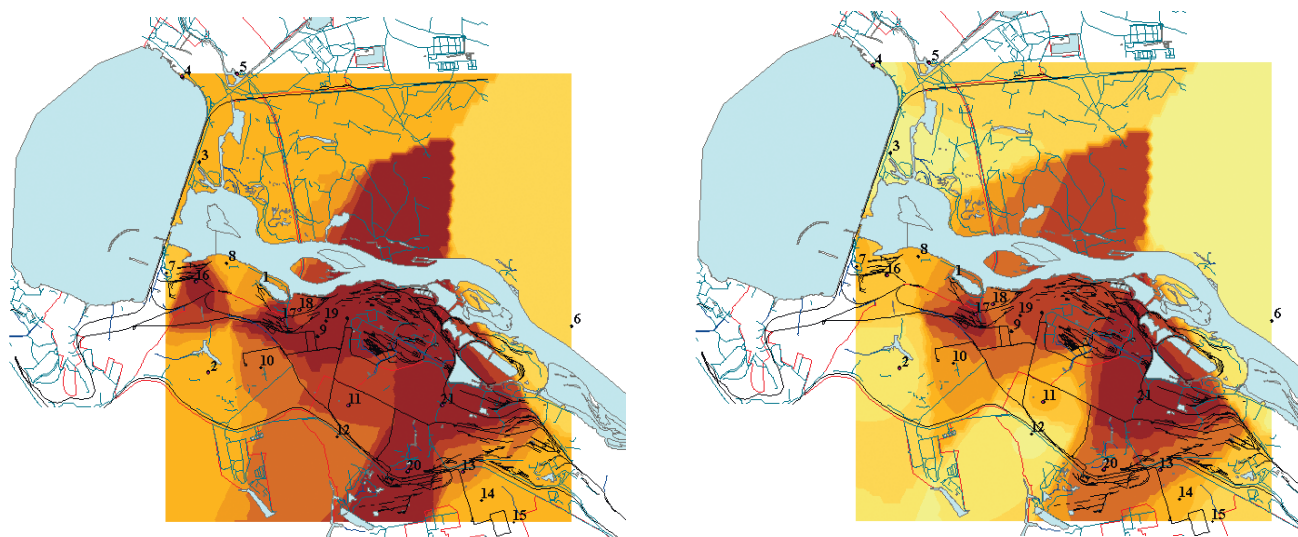


Рис. 3. Поверхня розподілу стану забруднення навколишнього середовища, побудована IDW методом за результатами флюктуючої асиметрії (праворуч) та ураженої тканини листа (ліворуч), дослідження 2013 р.

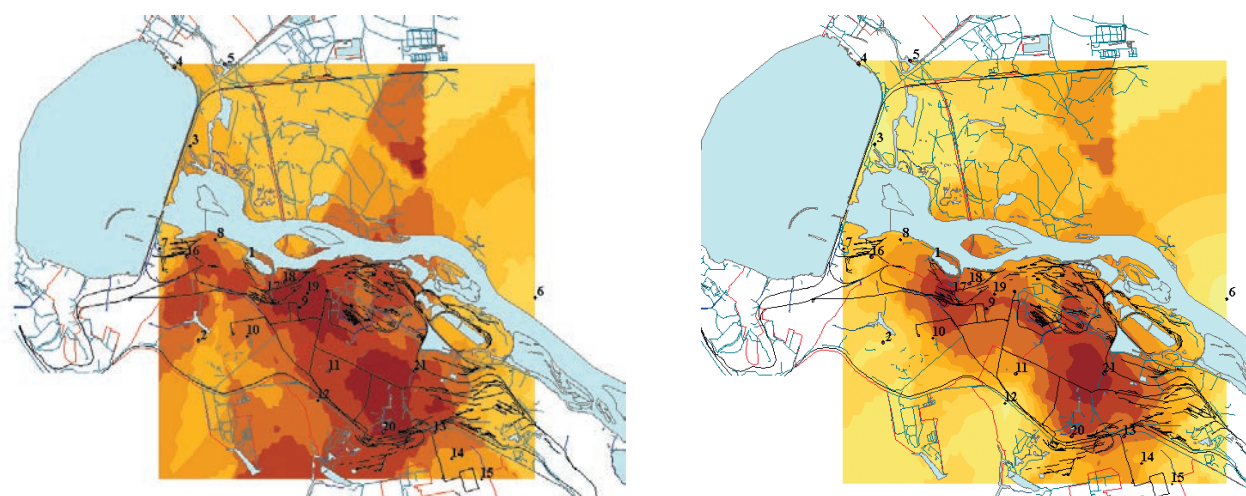


Рис. 4. Поверхня розподілу стану забруднення навколишнього середовища, побудована методом ординарного крігінга за результатами флюктуючої асиметрії (праворуч) та ураженої тканини листа (ліворуч), дослідження 2013 р.

Висновки. Для оцінки якості навколишнього середовища протягом двох років в промисловому місті Дніпродзержинську використані методи біоіндикації. Значення морфологічних змін у будові листа рослин (показники флуктуючої асиметрії листової пластини та ступінь ураженості тканини листової пластини) оцінено для 21 ділянки, що знаходяться на території міста, на кожній з яких проаналізовано по 10 дерев роду *Populus*.

Згідно проведених розрахунків встановлено значення усереднених параметрів морфологічних ознак листа рослин для відповідних зон в межах — рекреаційної, селітебної та промислової. Для промислової зони ці значення є найвищим, для селітебної зони показник знижується у порівнянні з промисловою, а для рекреаційної зони суттєвих відмінностей не спостерігається у порівнянні з селітебною (за виключенням контрольної точки), оскільки рекреаційна зона розташована в межах міста та відчуває не менший тиск антропогенного впливу.

За бальною системою в промисловій зоні встановлено вкрай несприятливі умови якісного стану довкілля з оцінкою у V балів, селітебна зона характеризується як сильно забруднена з оцінкою IV бали, рекреаційна зона в межах міста належить до перехідної групи між забрудненої та умовно чистої зони та має бальну оцінку у II бали.

Оскільки параметри морфологічних ознак листа рослин проведені протягом двох років, виявляється можливість порівняти результати досліджень, виконаних протягом 2012 та 2013 рр. на тих самих ділянках.

З метою встановлення характеру змін між параметрами протягом дослідженого інтервалу часу, використовуючи інструменти *Geostatistical Analyst*, побудовано гістограми розподілу отриманих результатів.

Розроблено електронну карту якісного стану довкілля м. Дніпродзержинська, яку створили шляхом нанесення місць розташування дослідних ділянок та розташованих на них дерев роду *Populus*. Використовуючи даний просторовий набір даних, побудували поверхні з використанням методу зважених відстаней (IDW) та ординарного крігінгу. За отриманими аналітичними картами для 2012 р. встановлено два основних забруднених центри на території міста — центральна частина міста та район Соцміста. За результатами моделювання 2013 р., які містять більш розгалужену мережу досліджених ділянок при зниженні досліджених параметрів в промисловій зоні, отримано карти, що більш конкретизують та виокремлюють забруднені зони міста.

За допомогою аналітичних карти, побудованих різними методами для 2013 р. можна спостерігати й обґрунтовано прогнозувати екологічно небезпечні зони промислового міста. Слід зазначити, що обидва методи доцільно використовувати для розробки аналітичних карт, зокрема карт, що представляють територіальний розподіл показників, які вказують на ступінь забруднення навколишнього середовища.

**Рецензент: доктор технічних наук,
зав. каф. екології та охорони навколишнього
середовища ДДТУ О.В. Зберовський**

Література:

1. Шкіль Ф. Н. Вживання методики раннього виявлення порушень стану зелених насаджень: Альманах «Екологія великого міста». Проблеми вмісту зелених насаджень і міських лісів в умовах Москви./Ф. Н. Шкіль, В. М. Захаров. — [Вид. 8] — М.: Пріма-М, 2003. — С. 50—54.
2. ArcGis 9 Geostatistical Analyst: Посібник користувача. Russian Translation. — Вид-во: ESRI, 2001. — 285 с.
3. "Описание электронной карты г. Днепропетровска" разработчик слоев — К.: НДВИ Геодезии и картографии.