

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ЛАНДШАФТІВ ПРИРОДНО-ТЕРИТОРІАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ, ЯКІ ТРАНСФОРМОВАНО АВТОТРАНСПОРТНИМИ МЕРЕЖАМИ

Л. С. Шелудченко

Подільський державний аграрно-технічний університет

вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., Україна, 32300.

E-mail: seludcenkolesa@gmail.com

Екологічна оптимізація конструкційних рішень комунікаційної системи «автодорожня мережа – автотранспортний потік» має передбачати максимально можливе обмеження динамічних процесів енерго-масопереносу шкідливих викидів, які продукуються автотранспортними засобами, через контрольну поверхню цієї системи, яка визначена розмірами резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. Встановлено, що для забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами, траси і конструкція автомобільних доріг та їх інфраструктура мають бути узгоджені з характерними фрактально-інваріантними ознаками ландшафтно-територіальних басейнів природно-територіальних комплексів. Визначено максимальні екологічно доцільні лінійні розміри ландшафтно-територіальних басейнів трасування автомобільних доріг відповідних категорій. На прикладі відповідної ділянки автомобільної дороги Н-03 сформульовано основні принципи узгодження автотранспортної інфраструктури з характерними ознаками ландшафтно-територіального басейну природно-територіального комплексу в межах Національного природного парку «Подільські Товтри».

Ключові слова: екологічна безпека ландшафтів, ландшафтно-територіальний басейн, трасування автомобільної дороги.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАНДШАФТОВ ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ, ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫМИ СЕТЯМИ

Л. С. Шелудченко

Подольский государственный аграрно-технический университет

ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая обл., Украина, 32300.

E-mail: seludcenkolesa@gmail.com

Экологическая оптимизация конструкторских решений коммуникационной системы «автодорожная сеть – автотранспортный поток» должна предусматривать максимально возможное ограничение динамических процессов энерго-массопереноса вредных выбросов, произведенных автотранспортными средствами, через контрольную поверхность этой системы. Установлено, что для обеспечения экологической безопасности природно-техногенных геоекосистем с развитой автотранспортной сетью, трассы и конструкция автомобильных дорог, а также их инфраструктура должны быть согласованными с характерными фрактально-инвариантными признаками ландшафтно-территориальных бассейнов природно-территориальных комплексов. Определены максимальные экологически целесообразные линейные размеры ландшафтно-территориальных бассейнов трассирования автомобильных дорог соответствующих категорий. На примере характерного участка автомобильной дороги Н-03 сформулированы основные принципы согласования автотранспортной инфраструктуры с характерными свойствами ландшафтно-территориального комплекса в пределах Национального природного парка «Подольские Товтры».

Ключевые слова: экологическая безопасность ландшафтов, ландшафтно-территориальный бассейн, трассирование автомобильной дороги.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Екологічна оптимізація конструкційних рішень комунікаційної системи «автодорожня мережа – автотранспортний потік» має передбачати максимально можливе обмеження динамічних процесів енерго-масопереносу через контрольну поверхню [1, 2, 4, 5, 6, 9] цієї системи, яка визначена розмірами резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. При цьому, обов'язковою умовою конструкційної оптимізації системи «автодорожня мережа – автотранспортний потік» є узгодження інженерної інфраструктури автодорожньої мережі з територіально-ландшафтними ознаками природно-територіального комплексу природно-техногенної геоекосистеми вцілому.

Метою ландшафтного проектування є не лише створення автомобільної дороги, яка забезпечувала

б її високі транспортно-експлуатаційні властивості, зручність і безпеку руху, але і сприяла би збереженню природних ознак та властивостей ландшафту природно-техногенної геоекосистеми та її екологічній безпеці вцілому.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Узгодження траси автомобільної дороги з ландшафтними ознаками має бути засноване на вимогах [3, 7] фрактальної інваріантності природних об'єктів ландшафту та штучних споруд інженерної інфраструктури автотранспортної мережі, тобто мають бути дотримані, так звані, вимоги інваріантної масштабності [3]. При цьому, необхідно враховувати, що автомобільна дорога, як правило, є екологічним бар'єром [4], тобто межовою лінійною спорудою, яка не лише розчленовує ландшафт природно-територіального комплексу, але і призводить до

трансформації всіх без винятку природних процесів в межах всієї природно-техногенної геоекосистеми (рис.1).

З точки зору системного термодинамічного аналізу динаміки процесів енерго-масопереносу, система мережі автомобільних доріг є відкритою термодинамічною системою [1, 2], для якої відбувається обмін енергією і речовиною з навколишнім середовищем, а отже закон неспадання ентропії S (другий закон термодинаміки) є несправедливим, як для системи, що перебуває у стані далекому від стану макроскопічної рівноваги. Надходження енергії до автодорожньої мережі у вигляді хімічної енергії пального автотранспортних засобів і зумовлює, в першу чергу, синергетичні процеси організації автотранспортних потоків [8].

Макроскопічний стан термодинамічної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” в певний момент часу визначається n параметрами

стану залежності поміж $n+1$ термодинамічних параметрів залежністю:

$$f(Z_1, Z_2, \dots, P_i, E_i, \dots, Z_n, Z_{n+1}) = 0 \quad (1)$$

де Z – узагальнені координати або потенціали термодинамічної системи;

P – потенціали системи, які є однозначними функціями координат E стану системи:

$$P_i = \varphi'(E_1, E_2, \dots, E_n) \quad (2)$$

і навпаки, E – координати стану системи однозначно визначаються через їх потенціали:

$$E_i = \varphi''(P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (3)$$

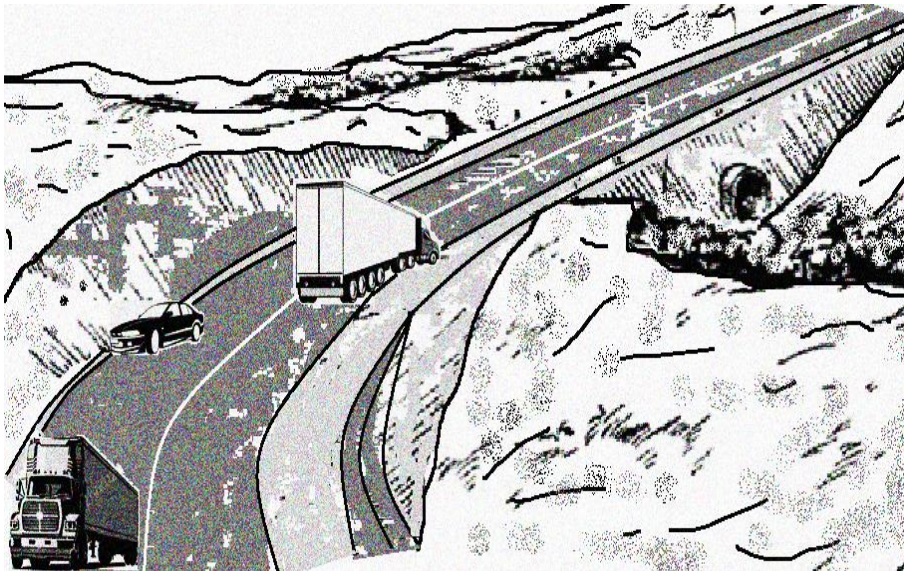


Рисунок 1 – Характер розчленування ландшафту природно-територіального комплексу трасою автомобільної дороги

В рівнянні (1) величини Z можуть бути як координатами, так і потенціалами термодинамічної системи, але як мінімум одна з пар Z , а саме P_i, E_i має бути суміщеною. Рівняння (1), (2), (3) визначають, що різниці потенціалів P по обидві сторони контрольної поверхні системи призводять до зміни координат E стану системи і тому, по суті, є рушійними силами динамічних змін стану системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”. При цьому під категорією “контрольна поверхня системи” розуміємо умовну граничну поверхню, на якій відбувається зміна величини потенціалів P , які мігрують в систему ззовні і в зворотному напрямку з системи в навколишнє середовище [2].

Зміна внутрішньої енергії системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”, яка відбувається з однієї сторони в результаті хімічних реакцій спалювання автотранспортними засобами пального, що призводить до виконання механічної роботи руху автотранспортних потоків, а з іншої – зумовлена процесами енерго-масопереносу через

контрольну поверхню за межі розглядуваної системи (за межі смуги відведення автомобільної дороги), призводить до зміни потенціалів P по обидві сторони контрольної поверхні системи. Якщо сукупність координат стану системи E виразити через певний узагальнений заряд U як:

$$U = \varphi'''(E_1, E_2, \dots, E_n) \quad (4)$$

то значення U є внутрішньою енергією системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”.

В результаті переносу зарядів через контрольну поверхню системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” відбувається зміна внутрішньої енергії системи, яка вимірюється добутком різниці потенціалів P на величину перенесеного заряду. Цей добуток є узагальненою роботою функціонування системи. Елементарна кількість роботи dA буде:

$$dA = P \cdot dE \quad (5)$$

де P – різниця потенціалів; dE – перенесений заряд.

Залежно від знаку P та dE визначається і знак dA .

Робота не є властивістю системи, а характеризує лише процес переносу заряду через контрольну поверхню системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”. Як тільки припиняється процес переносу заряду, припиняється і виконання роботи. Тому, при застосуванні позначення dA , воно розглядається не як диференціал A , не як приріст A , а лише як деяка елементарна кількість виконаної роботи.

Диференціальне рівняння стану системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” в нашому випадку (dU – приріст внутрішньої енергії системи) буде:

$$dU = P \cdot dE \quad (6)$$

При цьому швидкість V_{E_i} зміни координати стану (узагальненого заряду) системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” – це потік цієї координати (заряду). Потік заряду і різниця потенціалів, яка викликає цей потік є спряженими величинами. За Л. Онзагером – потік є похідною параметру стану системи (узагальненого заряду):

$$V_{E_i} = \dot{E} \quad (7)$$

При цьому, система яка перебуває в стані динамічної рівноваги з навколишнім середовищем може розглядатись як ізольована внаслідок усталеності ΔP , що підтримує стабільність (незмінюваність) координат E стану системи, тобто $E_i = const$. З точки зору захисту природно-техногенної геоекосистеми від впливу автодорожньої мережі необхідно мінімізувати перенос зарядів dE_i , які визначають структуру та обсяги шкідливих викидів, за межі контрольної поверхні системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” (в даному випадку – за межі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги). Разом із цим, необхідно враховувати, що до системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” безперервно надходить із зовнішнього середовища деяка маса речовини у вигляді маси палива, яке споживається автотранспортним потоком і перетворюється в енергію з приростом dU . Безперервний відтік зарядів dU_i в навколишнє середовище призводить до невинного зростання ентропії S природно-техногенної геоекосистеми вцілому. Таким чином, виходячи з вище викладеного походить, що застосування будь-яких систем інженерного захисту автодорожньої мережі в жодному разі не дозволяють ізолювати (відокремити) підсистему “автодорожня мережа – автотранспортний потік” від природно-техногенної геоекосистеми.

Очевидно, що у випадку, коли на підставі рівняння (1) на певній визначеній ділянці автомобільної дороги відбувається синхронізація колективно-го руху автотранспортних засобів, в системі “авто-

дорожня мережа – автотранспортний потік” відбувається процес самоорганізації, який виявляється у зрівноваженості характеристики інтенсивності q автотранспортного потоку. В цьому випадку маємо розглядати координату стану системи $E_{палива}$ як таку, що є заданою частиною розглядуваної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”. Тобто, приріст $dU_{палива}$ з зовнішнього середовища до системи відсутній ($E_{палива}$ є ознакою системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”). Це твердження базується на висновку Г. Хакена про те, що “довготривалі системи підпорядковують собі системи з коротшим періодом існування” [8]. Отже, система “автодорожня мережа – автотранспортний потік” має розглядатись як така, для якої обмін зарядами dU_i з навколишнім середовищем через контрольну поверхню відбувається виключно через процеси масообміну (міграції) викидів, які продукуються автотранспортним потоком.

Таким чином, максимально можливий захист природно-техногенної системи від газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортним потоком, має передбачати наявність такої контрольної поверхні системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”, яка б задовольняла умові мінімізації потоку dU_i за межі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. При цьому, як оптимальне рішення щодо конструкції такої контрольної поверхні, має розглядатись варіант в якому було б максимально використано природні ландшафтні об’єкти природно-територіального комплексу (особливості рельєфу території смуги впливу автодороги, наявність лісових масивів, напрям водотоків та контури берегів поверхневих водних об’єктів тощо).

Загалом, ландшафтна організація природно-техногенної геоекосистеми з розвинутою автодорожньою мережею має розглядатись, як деякий мозаїчний комплекс складений з окремих ландшафтно-архітектурних (ландшафтно-територіальних) басейнів [9], які характеризуються єдністю спільних ландшафтних ознак (сумірністю фрактальних розмірностей природних об’єктів і штучних споруд інженерної інфраструктури автодорожньої мережі). Кожний ландшафтно-територіальний басейн топологічно має характеризуватись головними осями і геометричним центром цих осей, і обмежуватись деякими домінантами басейнового фрагменту природно-техногенної геоекосистеми. Максимальний лінійний розмір L_6 ландшафтно-територіального басейну (вздовж траси автодороги) має визначатись характером візуального сприйняття єдності архітектурного сприйняття ділянки дороги і для автомобільних доріг різних категорій визначається як:

$$L_6 = v_{тп} \cdot t \quad (8)$$

де $v_{тп}$ – швидкість автотранспортного потоку; t – час подолання автотранспортним потоком ландшафтно-територіального басейну, який відповідно до рекомендацій [9] має бути $t \leq 10$ хв.

Максимальний лінійний розмір L_6 ландшафтно-територіального басейну для автомобільних доріг різних категорій, визначений відповідно (8) наведено в таблиці 1.

Мінімізація впливу автомобільної дороги, як екологічного бар'єру, на ландшафт природно-техногенної геоекосистеми має передбачати топографічне виявлення деякого екологічно безпечного "коридору", в якому траса перебувала б у найменшому конфлікті з морфологічними ознаками ландшафтно-територіального басейну. Особливо помітним протиріччя природного ландшафту і техногенної інфраструктури автомобільної дороги спостерігається в рівнинному рельєфі, де будівельна висота конструкції автодороги практично сумірна з вертикальними розмірами мезорельєфу території.

Таблиця 1 – Максимальний лінійний розмір L_6 ландшафтно-територіального басейну трасування автомобільних доріг, м

Категорія автодороги (ДБН В.2.3-4:2007)	1a, 16	2	3
Максимальний лінійний розмір L_6 ландшафтно-територіального басейну трасування автомобільних доріг, м	22×10^3	19×10^3	16×10^3

Характерним прикладом узгодження траси автомобільної дороги з ландшафтними ознаками природно-техногенної геоекосистеми є ділянка автодороги Н-03, яка перетинає Подільський Кряж в межах Національного природного парку (НПП) "Подільські Товтри" (рис.2).

В межах ландшафтно-територіального басейну природно-техногенної геоекосистеми, який лінійно обмежено домінантами 4-4 (межа міста Кам'янець-Подільський та улоговина пасма Подільського кряжу 2-2) обираємо вісь 5-5, як головний напрямок трасування автомобільної дороги та допоміжну вісь 6-6. При цьому, напрям осі 5-5 співпадає з поздовжнім напрямком екологічно-безпечного "коридору", який топологічно визначений поперечним до 2-2 напрямком. Головні осі 5-5 та 6-6 ландшафтно-територіального басейну мають не перетинати територію 3 суворого заповідання в межах НПП. Таким чином, трасування автомобільної дороги Н-03 (1-1) вздовж головної осі (5-5) забезпечує мінімізацію техногенного навантаження на об'єкти природно-територіального комплексу Національного природного парку "Подільські Товтри".

Отже, основними принципами узгодження інфраструктури автомобільної дороги з природним ландшафтом є:

– збереження фрактально-інваріантних ознак ландшафтно-територіальної організації природно-територіального комплексу, які мають бути реалізованими на стадії опрацювання варіантів плану трасування автомобільної дороги;

– інтегрування інженерної інфраструктури автомобільної дороги в ландшафт природно-територіального комплексу, як невід'ємного об'єкту природно-техногенної геоекосистеми (автодорога є елементом ландшафту, на відміну від створення ландшафтних об'єктів, які обслуговують дорожню інфраструктуру);

– підвищення рівня автотранспортної ємності природно-техногенної геоекосистеми шляхом створення штучних об'єктів ландшафту, які системно підсилюють геоморфологічні ознаки ландшафтно-територіального басейну автомобільної дороги.

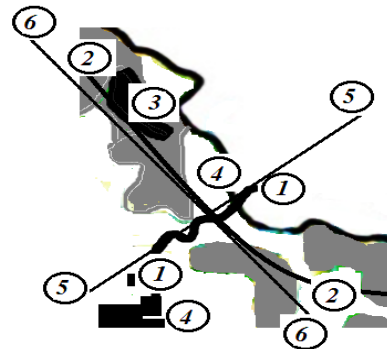


Рисунок 2 – Ділянка автомобільної дороги Н-03 в межах Національного природного парку "Подільські Товтри":

1-1 – траса автомобільної дороги Н-03; 2-2 – характерна ландшафтна вісь пасма Подільського кряжу; 3 – територія суворого заповідання в межах НПП "Подільські Товтри"; 4-4 – межові домінанти ландшафтно-територіального басейну; 5-5 і 6-6 – головні осі ландшафтно-територіального басейну природно-техногенної геоекосистеми

ВИСНОВОК. Основним принципом узгодження інфраструктури автомобільної дороги з об'єктами природного ландшафту є узгодження фрактально-інваріантних ознак ландшафтно-територіальної організації природно-територіального комплексу та об'єктів інженерної інфраструктури автодорожньої мережі, які мають бути реалізованими на стадії опрацювання варіантів плану трасування автомобільної дороги.

ЛІТЕРАТУРА

1. Базаров И.П. Термодинамика / И.П. Базаров. – М.: Высшая школа, 2010. – 376 с.
2. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов / М.Н. Гольдштейн. – М.: Изд. лит. по строительству, 1971. – 368 с.
3. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature / B.B. Mandelbrot. – W.H. Freeman and Company, 1983. – 468 p.
4. Шелудченко Л.С. Розроблення конструкцій газо-пилосахисних лісосмуг автодорожньої мережі / Шелудченко Л.С. – Кам'янець-Подільський: Каліграф, 2015. – 134 с.
5. Шелудченко Л.С. Дослідження матеріального балансу "пальне – викиди". Склад та обсяги шкідливих викидів, які продукуються автотранспортними потоками / Л.С. Шелудченко // Наук.-техн. журнал "Екологічна безпека та збалансоване ресурсо-

користування” Вип. № 2 (16) – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2017. – С.133–140.

6. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека автодорожньої мережі, як термодинамічної системи / Л.С. Шелудченко // Тези доповідей XV міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми екологічної безпеки”. – Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2017. – С. 75.

7. Шелудченко Б.А. Вступ до конструювання природно-техногенних геоекосистем (ландшафтно-територіальний аспект) / Б.А. Шелудченко. – Кам’янець-Подільський: Вид-во ПДАТУ, 2014. – 170 с.

8. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Издательство “Мир”, 1980. – 404 с.

9. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека ландшафтів природно-територіальних комплексів, які трансформовано автодорожньою мережею / Л.С. Шелудченко // Матеріали II-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції “Ефективне функціонування екологічно стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроекологічний, соціальний та економічний аспекти”. – Полтава: ПДАА, 2017. – С. 169–171.

ENVIRONMENTAL SAFETY OF LANDSCAPE NATURAL-TERRITORIAL COMPLEXES, WHICH ARE TRANSFORMED BY ROAD TRANSPORT NETWORK

L. Sheludchenko

State Agrarian and Engineering University in Podilya
vul. Shevchenko, 13, Kamyanets-Podilskyi, Khmelnytsky region, Ukraine, 32300.
E-mail:seludcenkolesa@gmail.com

Purpose. Environmental optimization of structural solutions of the communication system "road network - autotransport-tailor flow" should provide for the maximum possible limitation of dynamic processes of energy-mass transfer of harmful emissions produced by means of vehicles through the control surface of this system, which is determined by the size of the reserve and technological lane of the highway. The creation of a highway that ensures its high transport and operational qualities, convenience and traffic safety and contributes to the preservation of natural features and properties of the landscape of the natural and man-made geocosystem and its environmental safety. **Methodology.** The main results were obtained on the basis of analytical research. **Results.** It has been established that in order to ensure ecological safety of naturally-technogenic geo-ecosystems with developed motor transport networks, roads of highways and their infrastructure should be coordinated with the characteristics of fractally-invariant features of landscape-territorial basins of natural-territorial complexes. The maximum ecologically appropriate linear dimensions of the landscape-territorial basins of the road tracks of the corresponding categories are determined. On the example of the section of the highway H-03 the main principles of the coordination of the motor transport infrastructure with the characteristic features of the landscape-territorial basin of the natural-territorial complex within the limits of the National Nature Park "Podilski Tovtry" are formulated. *References 9, tables 1, figures 2.*

Key words: ecological safety of landscapes, landscape-territorial pool, trace of the motorway.

REFERENCES

1. Bazarov, Y.P. (2010) Termodinamyka, [Thermodynamics]. Vysshaya shkola, Moscow, 376 p.

2. Goldstein, M.N. (1971) Mekhanycheskye svoystva hruntov [Mechanical properties of soils], Publishing House of Literature on Construction, Moscow – Russia, 368 p.

3. Mandelbrot, B.B. (1983) The Fractal Geometry of Nature, W.H. Freeman and Company, USA, 468 p.

4. Sheludchenko, L.S. (2015) Rozroblenya konstruktsiy gazo-pylozahasnyh lisovug avtodorno-ynoymeregy [Development of constructions of gas-dust protection forest roads of road network], Calligraph, Kamyanets-Podilsky – Ukraine, 134 p.

5. Sheludchenko, L.S. (2017) Doslydgenya materialnogo balansu “palne – vykide”. Sklad ta obcyagy shkydlivnykh vikidyv, yaki produkuyutsya avtotransportnymy potokamy [Research of the material balance "fuel - emissions". Composition and volumes of harmful emissions produced by autotramental sports streams], Na-uk.-tehn. Journal "Environmental safety and sustainable use" Vol. № 2 (16) – IFNTUNG, Ivano-Frankivsk – Ukraine, pp.133–140.

6. Sheludchenko, L.S. (2017) Ekologichna bezpeka avtodorno-ynoymeregy, yak termodinamichnoy systemy

[Ecological safety of the automotive network as a thermodynamic system], Abstracts of the XV International Scientific and Practical Conference "Problems of Environmental Safety", PP Shcherbatih O.V., Kremen-chuk – Ukraine, pp. 75.

7. Sheludchenko, B.A. (2014) Vstup do konstruyuvanya pryrodno-tekhnogenykh geo-ecosystem (landshaftno-terytorialny aspekt) [Introduction to the construction of prime-technogenic geoecosystems (landscape-territorial aspect)], PDAU View, Kamyanets-Podilsky – Ukraine, 170 p.

8. Haken, G. (1980) Synergetika [Synergetics], Publishing house "Mir", Moscow – Russia, 404 p.

9. Sheludchenko, L.S. Ekologichna bezpeka landshaftyv pryrodno-terytorialnykh kompleksiv, yaky transformovano fvtodorno-ynoymeregeyu [Ecological safety of landscapes of natural-territorial complexes transformed by road network], Materials of the 2nd All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Effective functioning of ecologically stable territories in the context of sustainable development strategy: agroecological, social and economic aspect", PDAА, Poltava–Ukraine, pp. 169–171.