

Лихолат Ю. В., Хромих Н. О., Дідур О. О., Іванько І. А., Алексєєва А. А., Недзвецька М. І.
УДК 51-76:581.522.6+582.795

**СТАН ЛОКАЛЬНОЇ ПОПУЛЯЦІЇ *TILIA PLATYPHYLLOS* SCOP.
ТА МОДЕЛЮВАННЯ ІНВАЗІЙНОСТІ АДВЕНТИВНОГО ВИДУ
У ПАРКОВІЙ ЗОНІ МІСТА ДНІПРО.¹**

Ю. В. ЛИХОЛАТ, доктор біологічних наук, професор

Н. О. ХРОМИХ, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник

О. О. ДІДУР, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник

І. А. ІВАНЬКО, кандидат біологічних наук, директор НДІ біології

А. А. АЛЕКСЄЄВА, здобувач, провідний інженер

М. І. НЕДЗВЕЦЬКА, студентка

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

E-mail: ann.alekseeva21@gmail.com

¹ Дослідження виконано за грантової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень України (проект № Ф76/103-2017)

ЛихолатЮ. В., Хромих Н. О., Дідур О. О., Іванько І. А., Алексєєва А. А., Недзвецька М. І.

Анотація. Зважаючи на виявлено популяцію насінневого континентальний характер походження липи широколистої (*Tilia platyphyllos Scop.*) у насадженнях із регіонального клімату широколистої липи у насадженнях із свіжими гігромами на лучно-чорноземних ґрунтах із високою трофністю. Розроблено математичну модель розвитку популяції насінневого походження липи широколистої в антропогенно-трансформованих екотопах на території парку «Дружби народів» та прогнозовано збереження тенденції росту інвазійності липи широколистої за умов подальших змін клімату у регіоні.

Ключові слова: адвентивні рослини, інвазійність, кліматичні зміни, насінневе відтворення, липа широколиста, *Tilia platyphyllos Scop.*

Актуальність. Значні темпи деградації природних екосистем на території промислового міста призводять до зміни фітоценозів [1] та зооценозів [2, 3, 4], що негативно впливає на здоров'я людини [5]. При цьому постійні інвазії чужорідних видів у природні співтовариства привертають увагу дослідників до проблеми антропогенної трансформації флори [6]. Наслідки появи в фітоценозах інвазійних видів рослин численні і носять екологічний, економічний і соціальний характер. Процеси проникнення організмів на нові території давно набули глобального значення і нерідко провокують важкі наслідки для природних екосистем, в першу чергу, погрожуючи збереженню біорізноманіття на всіх його рівнях

[7]. На сьогодні проблема фітоінвазій гостро постала у всьому світі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одними з місць найбільшої концентрації чужорідних та інвазійних видів рослин є урбанізовані території, в яких процеси інвазій проявляють себе специфічно, відрізняючись від інвазій природних угруповань [8]. Міжнародним документом, що регулює зусилля світової спільноти щодо збереження біорізноманіття та контролю інвазій, стала Конвенція ООН Про біорізноманіття (1992), ратифікована Україною в 1994 р Конвенція закликає до запобігання інвазій, контролю або знищення тих чужорідних видів, які загрожують екосистемам, місцям мешкання, угрупованням і видам. Необхідність запобігання інвазій,

Лихолат Ю. В., Хромих Н. О., Дідур О. О., Іванько І. А., Алексєєва А. А., Недзвецька М. І. контролю і стримування інвазійних широколистої (*Tilia platyphyllos* Scop.) чужорідних видів відображені в Конвенції про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі (Бернська конвенція, 1979), ратифікованої Україною у 1999 році [9].

Зростання інвазійності адвентивних видів створює додаткову загрозу для місцевої флори, а саме: зростання ризиків зникнення видів, зниження їх щільності; істотні зміни генетичної структури популяцій нативних видів, філогенетичного і таксономічного різноманіття, продуктивності екосистем. Кліматичні зміни в напрямку підвищення температури і посушливості – один із ключових факторів ініціації інвазійних процесів [10]. Нині вже існують свідчення того, що флуктуації клімату останніх десятиліть виявились сприятливими для деяких адвентивних видів і дозволили їм розповсюджуватися у регіонах, де раніше вони не мали шансів на виживання й відтворення. У попередніх дослідженнях нами було виявлено насінневе розповсюдження декількох адвентивних деревних видів у природних лісових масивах і штучних насадженнях у Степовому Придніпров'ї, що свідчить про одночасну ініціацію їх інвазійності й посилює загрозу природному біорізноманіттю [11].

Тому метою дослідження було прогнозування інвазійних процесів адвентивного деревного виду липи

широколистої (*Tilia platyphyllos* Scop.) для обґрунтування заходів стосовно їх контролю за умов подальших кліматичних змін у Степовому Придніпров'ї.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проведені у 2017 р. польовим маршрутним методом паркової зони м. Дніпро (на прикладі парку «Дружби народів» (48°31'57.90"N 35°05'53.12"E). Парк площею 93 га по суті є штучним лісовим масивом зі спонтанно прокладеними стежками, без елементів паркового благоустрою, асфальтованих алей, що створює ілюзію природного лісу. Клімат регіону дослідження характеризується частими періодами посухи, високою температурою і низькою вологістю повітря, дефіцитом вологи в ґрунті та суховіями влітку. Середньорічна сума атмосферних опадів, яка складає 472 мм, у різко посушливі роки знижується до 250 мм, а інтенсивність випаровування вологи перевищує кількість опадів у 2–3 рази. Об'єкт дослідження – популяція адвентивного виду липи широколистої (*Tilia platyphyllos* Scop.). Згідно із загальноприйнятими підходами [12], адвентивними вважали такі види, які внаслідок діяльності людини розселялись у регіонах, де раніше були відсутні. Визначення інвазійності адвентивних рослин проводили за критерієм [13], згідно з яким інвазійними вважали натуралізовані у регіоні види, що виявили

ЛихолатЮ. В., Хромих Н. О., Дідур О. О., Іванько І. А., Алексєєва А. А., Недзвецька М. І. спроможність до розселення на далекі відстані від материнських рослин. Математичну модель процесу інвазії локальної популяції *T. platyphyllos* будували згідно уявлень про випадкові події та величини, які покладено в основу теорії ймовірностей і математичної статистики [14].

Результати дослідження та їх обговорення. У сучасних наукових дослідженнях математичне моделювання займає велике місце, що пояснюється загальним прогресом науки. Сьогодні моделі застосовуються для дослідження систем різної складності і природи (в тому числі і біологічної). У всіх випадках моделювання проводять для досягнення однієї з двох цілей: або для прогнозування поведінки різних об'єктів, або для оптимізації їх функціонування.

Найважливішим етапом нашого дослідження було прогнозування

темнів інвазійних процесів, які виявляє локальні популяції насінневої порослі в'яза низького на території будівельних майданчиків. Для цього ми застосували методи регресійного аналізу, процедури якого дозволяють з'ясувати аналітичний вираз зв'язку двох змінних у вигляді аналітичного виразу.

Беручи до уваги той факт, що більшість досліджень кліматичних змін орієнтована на наслідки підвищення температури [10], у нашій роботі проведено порівняльний аналіз температурного режиму, кількості опадів та посушливих діб (рівень відносної вологості нижче 30 %) протягом вегетації рослин за період з 2013 по 2017 рік. За основу брали дані Гідрометеослужби у Дніпропетровській області. Флуктуації температури протягом останніх років реєстрували у відношенні до кліматичної норми відповідно до показника (рис. 1–2).

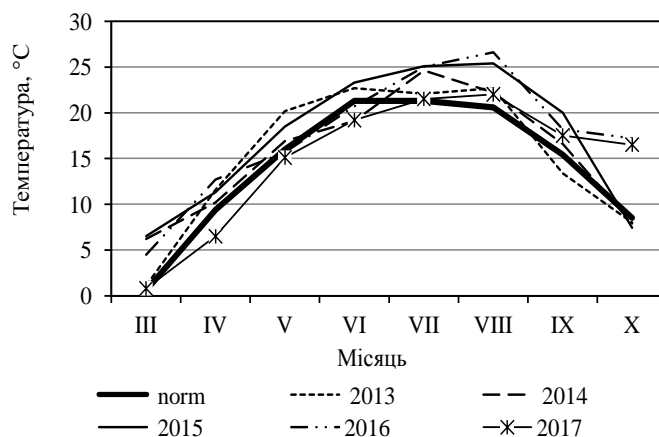


Рис. 1. Флуктуації температури повітря (порівняно з нормою)

Примітка : norm – температурна норма

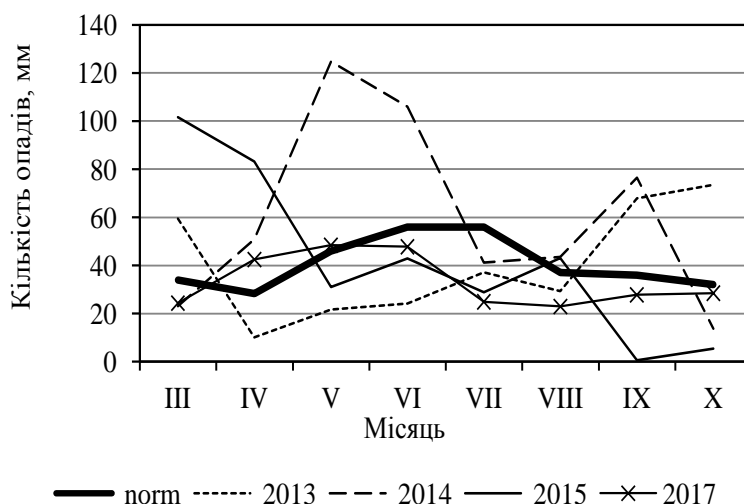


Рис. 2. Динаміка кількості опадів (порівняно з нормою)

Примітка. norm – норма кількості опадів

Аналітичну залежність кількості рослин липи широколистої (*T. platyphyllos*), які виростили за певний час на території парку «Дружби народів» можна описати поліноміальним рівнянням другого ступеня

$$y = 0,017x^2 + 0,250x + 2006 \quad (R^2 = 50,1 \%),$$

або лінійною регресією

$$y = 0,579x + 2005 \quad (R^2 = 49,0 \%; r = 0,70, p = 0,011)$$

де y – кількість рослин, екземпляри; x – рік дослідження.

Серед інших видів простих регресійних моделей ми обрали лінійну модель, оскільки порівняно з іншими моделями вона (згідно принципу Оккама) найпростіша для інтерпретації та має близькі статистичні оцінки до інших простих регресійних моделей (експоненціальна, логарифмічна), хоча

її можливість апроксимації не висока (коефіцієнт детермінації дорівнює 49,0 %). Поліноміальна модель другого ступеня має дещо вищий коефіцієнт детермінації ($R^2 = 50,1 \%$), тому можна для описання темпів інвазії липи широколистої також залучити для прогнозу оцінки інвазії липи широколистої за умов збереження тенденції кліматичних змін, зокрема за умов підвищення температур повітря порівняно з кліматичною нормою.

На графічному зображенні запропонованих математичних моделей залежності кількості рослин, які виростили за певний час на території дослідженого парку, реалізовано прогноз до 2020 року як для поліноміальної, так і для лінійної моделі (рис. 3).

Аналіз вищенаведених графічних моделей свідчить, що незалежно від їх

ЛихолатЮ. В., Хромих Н. О., Дідур О. О., Іванько І. А., Алексєєва А. А., Недзвецька М. І. математичного вигляду чисельність збільшенням значень кліматичних рослин липи широколистої останні 19 років постійно збільшується. Очевидно, що збільшення темпів інвазійних процесів цього деревного виду також позитивно корелює зі

показників порівняно з кліматичною нормою. Тобто тенденція подальшої інвазії липи широколистої згідно прогносної оцінки зберігається до 2020 року.

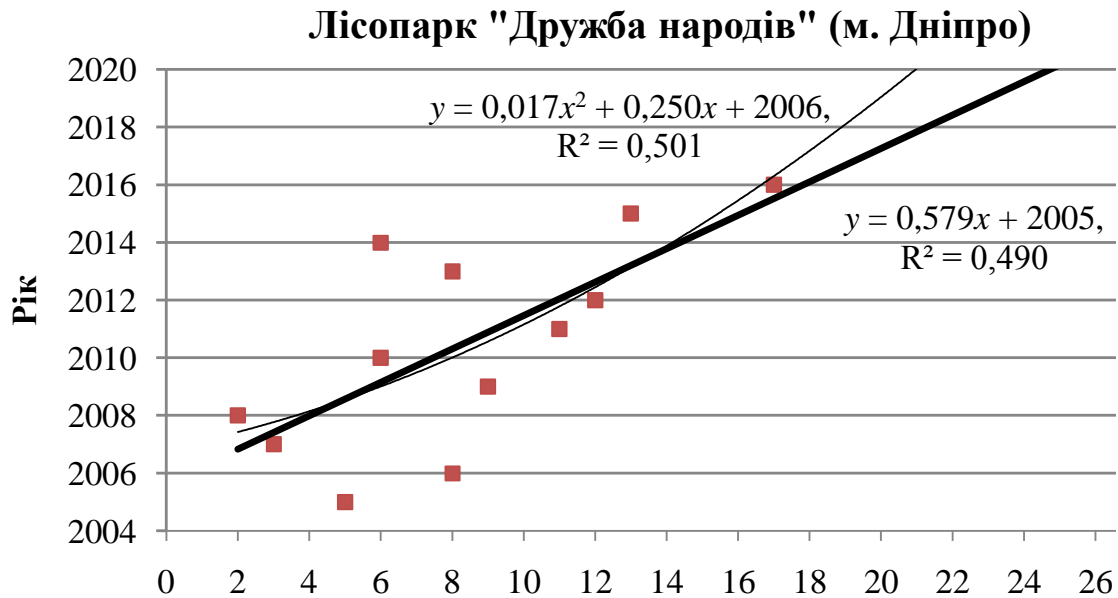


Рис. 3. Емпіричний та теоретичний розподіл кількості рослин липи широколистої (*T. platyphyllos*) по роках в урбоекосистемі (парк "Дружби народів", м. Дніпро)

Примітка: Лінія зі звичайним суцільним нарисом – графік, побудований за поліноміальною моделлю, лінія зі збільшеною товщиною – графік, побудований за лінійною моделлю, квадрати – емпіричні дані.

Висновки і перспективи. Досліджена локальна популяція насінневого походження липи широколистої (*T. platyphyllos*) виявляє усі ознаки інвазійності: знаходиться на значній відстані від потенційних материнських рослин, складається з молодих віргінільних особин, чисельність яких поступально збільшується протягом останніх 10–15 років. Згідно запропонованої регресійної моделі темпів фітоінвазій чисельність особин локальної популяції насінневої порослі липи широколистої (*T. platyphyllos*) на території парку «Дружби народів» (м. Дніпро) має тенденцію до зростання до 2020 року. За прогносною оцінкою (лінійна апроксимація) у 2020 році чисельність локальної популяції насінневої порослі *T. platyphyllos* на території лісопарку «Дружби народів» збільшиться відповідно в 2,8 і 1,5 рази порівняно з 2009 та 2016 роками.

Список використаних джерел

1. Alexeyeva A. A., Lykholat Yu. V., Khromykh N. O., Kovalenko I. M., Boroday E. S. The impact of pollutants on the antioxidant protection of species of the genus *Tilia* at different developmental stages. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 2016. Vol. 24, No. 1. P. 188–192.
2. Kul'bachko Y.L., Didur O.O., Loza I.M., Pakhomov O.E., Bezrodnova O.V. Environmental aspects of the effect of earthworm (Lumbricidae, Oligochaeta) tropho-metabolic activity on the pH buffering capacity of remediated soil (steppe zone, Ukraine). *Biology Bulletin.* 2015. Vol. 42, No. 10. P. 899–904.
3. Andrushevich K. V., Nazarenko M. M., Lykholat T. Yu., Grygoryuk I. P. Communities of soil invertebrates in the context of application of the traditional agriculture technology. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2018. Vol. 8, No 1. P. 33–40.
4. Lykholat O. A., Grigoryuk I. P., Lykholat T. Y. Metabolic effects of alimentary estrogen in different age animals. *Annals of Agrarian Science.* 2016. Vol. 14, No. 4. P. 335–339.
5. Yermishev O, Lykholat T., Lykholat O. Effect of alimentary synthetic estrogen on cell compensatory mechanisms in rats of different ages. *Biologia.* 2017. Vol. 63, No. 2. P. 152–159.
6. Wagner V., Chytrý M., Jiménez-Alfaro B., Pergl J., Hennekens S., Biurrun I., Knollová I., Berg C., Vassilev K., Rodwell J. S., Škvorc Ž., Jandt U., Ewald J., Jansen F., Tsiripidis I., Botta-Dukát Z., Casella L., Attorre F., Rašomavičius V., Čušterevska R., Schaminée J. H. J., Brunet J., Lenoir J., Svenning J.-C., Kačaki Z., Petrášová-Šibíková M., Šilc U., García-Mijangos I., Campos J. A., Fernández-González F., Wohlgenuth T., Onyshchenko V., Pyšek, P. Alien plant invasions in European woodlands. *Diversity and Distributions.* 2017. Vol. 23, No. 9. P. 969–981.
7. Foxcroft L. C., Pyšek P., Richardson D. M., Genovesi P., MacFadyen S. Plant invasion science in protected areas: progress and priorities. *Biological Invasions.* 2017. Vol. 19, No. 5. P. 1353–1378.
8. Gaertner M., Wilson J. R. U., Cadotte M.W., MacIvor J. S., Zenni R. D., Richardson D. M. Non-native species in urban environments: patterns, processes, impacts and challenges. *Biological Invasions.* 2017. Vol. 19, No. 12. P. 3461–3469.
9. Бурда Р. И. Европейская политика ботанических садов по инвазивным чужеродным видам. *Промышленная ботаника.* 2014. № 14. С. 3–14.
10. Bahuguna R. N., Jagadish K. S. V. Temperature regulation of plant phenological development. *Environmental and Experimental Botany.* 2015. No. 111. P. 83–90.
11. Лихолат Ю. В., Хромих Н. О., Іванько І. А., Матюха В. Л., Кравець С. С., Дідур О. О., Алексєєва А. А., Шупранова Л. В. Оцінка і прогноз інвазійності деяких адвентивних рослин за впливу кліматичних змін у Степовому Придніпров'ї. *Biosystem Diversity.* 2017. Т. 25, № 1. С. 52–59.
12. Blackburn T. M., Essi F., Evans T., Hulme P. I., J. Jeschke M. A

- Лихолат Ю. В., Хромих Н. О., Дідур О. О., Іванько І. А., Алексеева А. А., Недзвецька М. І. unified classification of alien species based on the magnitude of their environmental impacts. *PLoS Biol* . 2014. Vol. 12, No.5. P. 36–49. doi: 10.1016/j.aasci.2016.09.012
13. Richardson D. M., Pyšek P., Redjmanek M., Barbour N. G., Panetta F. D. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity & Distributions*. 2000. No. 6. P. 93–107.
14. Принципи моделювання та прогнозування в екології: Підручник / В. В. Богобоящий та ін. К.: Центр навч. літ-ри, 2004. 216 с.
- References**
1. Alexeyeva, A. A., Lykholat, Yu. V., Khromykh, N. O., Kovalenko, I. M., Boroday E. S. (2016) The impact of pollutants on the antioxidant protection of species of the genus *Tilia* at different developmental stages. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.*, 24(1), 188–192. doi: 10.15421/011623.
2. Kul'bachko, Y.L., Didur, O.O., Loza, I.M., Pakhomov, O.E. & Bezrodnova, O.V. (2015). Environmental aspects of the effect of earthworm (Lumbricidae, Oligochaeta) tropho-metabolic activity on the pH buffering capacity of remediated soil (steppe zone, Ukraine). *Biology Bulletin*, 42(10), 899–904. doi: 10.1134/S1062359015100088
3. Andrushevich K.V. , Nazarenko M.M. , Lykholat T.Yu., Grygoryuk I.P. (2018). Communities of soil invertebrates in the context of application of the traditional agriculture technology. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 33–40. doi: 10.15421/2017_184.
4. Lykholat, O. A., Grigoryuk, I. P., Lykholat, T. Y. (2016). Metabolic effects of alimentary estrogen in different age animals. *Annals of Agrarian Science*, 14 (4), 335–339. doi: 10.6001/biologija.v63i2.3526
5. Yermishev, O., Lykholat, T., Lykholat, O. (2017). Effect of alimentary synthetic estrogen on cell compensatory mechanisms in rats of different ages. *Biologia*, 63 (2), 152–159. doi: 10.6001/biologija.v63i2.3526
6. Wagner, V., Chytrý, M., Jiménez-Alfaro, B., Pergl, J., Hennekens, S., Biurrun, I., Knollová, I., Berg, C., Vassilev, K., Rodwell, J. S., Škvorc, Ž., Jandt, U., Ewald, J., Jansen, F., Tsiripidis, I., Botta-Dukát, Z., Casella, L., Attorre, F., Rašomavičius, V., Čušterevska, R., Schaminée, J. H. J., Brunet, J., Lenoir, J., Svenning, J.-C., Kački, Z., Petrášová-Šibíková, M., Šilc, U., García-Mijangos, I., Campos, J. A., Fernández-González, F., Wohlgemuth, T., Onyshchenko, V. & Pyšek, P. (2017). Alien plant invasions in European woodlands. *Diversity and Distributions*, 23(9), 969–981. doi: 10.1111/ddi.12592
7. Foxcroft, L. C., Pyšek, P., Richardson, D. M., Genovesi, P. & MacFadyen S. (2017). Plant invasion science in protected areas: progress and priorities. *Biological Invasions*, 19(5), 1353–1378. doi: 10.1007/s10530-016-1367-z
8. Gaertner, M., Wilson, J. R. U., Cadotte, M. W., MacIvor, J. S., Zenni, R. D. & Richardson, D. M. (2017). Non-native species in urban environments: patterns, processes, impacts and challenges. *Biological Invasions*, 19(12), 3461–3469. doi: 10.1007/s10530-017-1598-7
9. Burda, R. I. (2014). European Botanic Gardens Policy on Invasive Alien Species [Evropejskaia politika botanicheskikh sadov po uznavaemym

- Лихолат Ю. В., Хромих Н. О., Дідур О. О., Іванько І. А., Алексеева А. А., Недзвецка М. І. chuzherodnym vidam]. Promyshlennaia botanika, 14. P. 3–14.
10. Bahuguna, R. N., Jagadish K. S. V. (2015). Temperature regulation of plant phenological development. Environmental and Experimental Botany, 111, 83–90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.10.007>
11. Lykholat, Y. V., Khromykh, N. A., Ivan'ko, I. A., Matyukha, V. L., Kravets, S. S., Didur, O. O., Alexeyeva, A. A., Shupranova, L. V. (2017). Assessment and prediction of the invasiveness of some alien plants in conditions of climate change in the steppe Dnieper region. Biosystems Diversity, 25(1), 52–59. doi: 10.15421/011708
12. Blackburn, T. M., Essi, F., Evans, T., Hulme, P. I., Jeschke, J. M. (2014). A unified classification of alien species based on the magnitude of their environmental impacts. PRO S Biol., 12 (5), 36–49.
13. Richardson, D.M., Pysek, P., Rejmanek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D. and West, C.J. (2000) Naturalization and Invasion of Alien Plants: Concepts and Definitions. Diversity Distribution, 6, 93–107. doi: 10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x
14. Bohoboishchyi, V. V. (2004). Pryntsypy modeliuvannia ta prohozuvannia v ekolohii [Principles of Modeling and Forecasting in Ecology]. Tsentr navch. lit-ry, 216.

**СОСТОЯНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ
ПОПУЛЯЦИИ
TILIA PLATYPHYLLOS SCOP. И
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ИНВАЗИЙНОСТИ
АДВЕНТИВНОГО ВИДА В
ПАРКОВОЙ ЗОНЕ ГОРОДА
ДНИПРО**

**Ю. В. Лихолат, Н. А. Хромых,
О. А. Дидур, И. А. Иванько,
А. А. Алексеева, М. И. Недзвецкая**

Аннотация. Учитывая континентальный характер регионального климата Днепропетровской области, можно ожидать, что его изменения в направлении усиления черт аридности должны быть важным фактором влияния на границы распространения растительных видов. Сделано предположение, что некоторые древесные растительные виды могли получить преимущества для выживания и расселения на

территории Степного Приднепровья в условиях климатических изменений последних десятилетий. Исследовано локальные популяции инвазионных адвентивных древесных видов на территории парка «Дружбы народов», расположенного в левобережной части города Днепро. Выявлено популяцию семенного происхождения липы крупнолистной (*Tilia platyphyllos* Scop.) в насаждениях со свежими гигротопами на лугово-черноземных почвах с высокой трофностью. Разработано математическую модель развития популяций семенного происхождения липы крупнолистной в антропогенно-трансформированных экотопах на территории парка «Дружбы народов» и спрогнозировано сохранение тенденции роста инвазивности липы крупнолистной в условиях дальнейших изменений климата в регионе.

Лихолат Ю. В., Хромих Н. О., Дідур О. О., Іванько І. А., Алексєєва А. А., Недзвєцька М. І.

Ключевые слова: адвентивные растения, инвазивность, климатические изменения, семенное воспроизведение, липа крупнолистная, *Tilia platyphyllos* Scop.

STATE OF *TILIA PLATYPHYLLOS* SCOP. LOCAL POPULATION AND SIMULATION OF ALIEN SPECIES INVASIVENESS IN THE PARKLAND OF THE CITY OF DNIPRO

**Y. V. Lykholat, N. O. Khromykh,
O. O. Didur, I. A. Ivan'ko,
A. A. Alexeyeva, M. I. Nedzvetska**

Abstract. *The continental nature of the regional climate of the Dnipropetrovsk region and its change in the direction of raising the arid characteristics are an important factor, which affects the boundaries of plant species distribution. It was suggested that changes in rainfall, increasing*

*temperatures and drought risks may affect plant species distribution and community composition on the territory of the Steppe Dnieper over the last decades. The study covered the local populations of invasive alien woody plant species at the territory of "Peoples' Friendship Park" in left-bank district of the city of Dnipro. The seed-originated populations of the introduced species large-leaved linden (*Tilia platyphyllos* Scop.) have been discovered in areas with moist soil. Mathematic modeling growth of the seed-originated populations of large-leaved linden at the territory of "Peoples' Friendship Park" allowed predicting maintenance of the tendency for increase of the given species providing further climatic variations in the region.*

Keywords: *adventitious plants, invasiveness, climate change, seed reproduction, large-leaved linden, *Tilia platyphyllos* Scop.*