

O'SIMLIKSHUNOSLIK

<https://doi.org/10.63241/agro-2972>

UO'K: 635.97

TOSHKENT SHAHRI SHAROITIDA YEVROPADAN KELITIRILGAN *PLATANUS×HISPANICA* (MANZARALI CHINOR) KO'CHATLARINI ADAPTATSIYA QILISH VA PARVARISHLASHNING AMALIY Tajribasi**Ismailov Agzamjon Avaz o'g'li** 

Xalqaro aloqalar bo'limi boshlig'i, "Zamin Plants" MCHJ

e-mail: iagzamjon@gmail.com**Eshqorayev Ruziboy Eshquvvatovich** 

bosh agronom, "Zamin Plants" MCHJ

e-mail: ruziboy.eshqorayev@gmail.com**Xakimov Furqat Hakimovich** 

agronom, "Zamin Plants" MCHJ

e-mail: xakimovfugat@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada Yevropa iqlim sharoitidan, xususan, "Zamin Plants" MCHJ tomonidan respublikamizga keltirilgan 4–5 yillik shakllangan *Platanus×hispanica* (gibrid/manzarali chinor) daraxtlarini Toshkent shahrining keskin kontinental iqlimiga moslashtirish (aklimatizatsiya) jarayonlari mualliflarning shaxsiy amaliy tajribasi asosida yoritilgan. Aprel–iyul oylari davomida o'tkazilgan tadqiqotlar asosida ekish chuqurchasini tayyorlash substrati, ildiz bo'g'zini to'g'ri joylashtirish, transport shoki va fito-sanitar himoya choralari, ildiz tizimini rag'batlantirish, stressga qarshi bargdan ishlov berish, bahorgi sernamgarchilik davrida antraknoz kasalligiga qarshi samarali kurashish hamda NPK va mikroelementlar bilan oziqlantirish agroteknikasi mukammal bayon etilgan.

Kalit so'zlar: *Platanus×hispanica*, manzarali chinor, Zamin Plants, transport shoki, Epin Extra, ildiz bo'g'zi, substrat, biogumus, antraknoz, Rayok, NPK 30-10-10.

ADAPTATION AND CULTIVATION PRACTICES OF EUROPEAN ORNAMENTAL PLANE TREES (*PLATANUS×HISPANICA*) IN THE URBAN ENVIRONMENT OF TASHKENT

Abstract. Based on the authors' personal practical experience, this article highlights the acclimatization processes of 4–5-year-old formed Spanish plane trees (*Platanus×hispanica*), imported from European climatic conditions by "Zamin Plants" LLC into the sharply continental climate of Tashkent city. The agrotechnics for ensuring high growth rates of this species are comprehensively described, including the preparation of the planting pit substrate, correct positioning of the root collar, phytosanitary protection against transport shock using Epin Extra, root system stimulation, anti-stress foliar treatment, and effective control of anthracnose during the spring rainy period using NPK fertilizers and microelements.

Keywords: *Platanus×hispanica*, Spanish plane tree, Zamin Plants, transport shock, Epin Extra, root collar, substrate, biohumus, anthracnose, Rayok, NPK 30-10-10.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ АДАПТАЦИИ И ВЫРАЩИВАНИЯ САЖЕНЦЕВ ПЛАТАНА ГИБРИДНОГО (*PLATANUS×HISPANICA*), ЗАВЕЗЕННЫХ ИЗ ЕВРОПЫ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА ТАШКЕНТА.

Аннотация. В данной статье на основе личного практического опыта авторов освещены процессы акклиматизации 4–5 летних сформированных деревьев платана испанского (*Platanus×hispanica*), завезенных из европейских климатических условий компанией ООО «Zamin Plants» в резко континентальный климат города Ташкента. Подробно описана агротехника обеспечения высоких темпов роста данного вида, включающая подготовку субстрата посадочной ямы, правильное размещение корневой шейки, фитосанитарную защиту от транспортного шока с применением препарата Эпина Экстра, стимуляцию корневой системы, внекорневую обработку против антистресса, а также эффективную борьбу с антракнозом в период весенних дождей с применением удобрений NPK и микроэлементов.

Ключевые слова: *Platanus×hispanica*, платан испанский, Zamin Plants, транспортный шок, Эпин Экстра, корневая шейка, субстрат, биогумус, антракноз, Раёк, NPK 30-10-10.

KIRISH

Bugungi kunda Toshkent shahrini ko'kalamzorlashtirish, landshaft dizaynini zamonaviylashtirish va shahar ekologik muhitini yaxshilashda xorijdan keltirilayotgan manzarali daraxt turlariga talab yuqori. Ushbu yo'nalishda manzarali gibridd chinor turi hisoblangan *Platanus×hispanica* alohida o'rin tutadi. Shahar landshafti shahar daraxtlari uchun juda noyob o'sish muhiti bo'lib, o'rmon stendlaridan keskin farq qiladi [2,9]. Oddiy o'rmon daraxtlari bilan solishtirganda, shahar daraxtlari asosan zich va muhrlangan tuproqli kichik ekish chuqurlarida o'sadi [2,5]. Bu ekish chuqurlari ko'pincha suv ta'minotining kamayishi, kislorodning kam kiritilishi, tuproq sifatining yomonligi, mikorizaning kamligi, shuningdek, daraxtlar uchun umumiy kichik ildiz otish maydoni bilan tavsiflanadi [14, 21]. Bundan tashqari, yer osti qismi kamaygan o'sayotgan muhitda yer usti maydoni elektr ta'minoti liniyalari, yaqin binolar yoki transport harakati xavfsizligi sababli kesish choralari bilan ham cheklanishi mumkin. Shahar daraxtlarining o'sishi va hayotiylikiga ta'sir qiluvchi boshqa omillar it siydigi, qishda muzdan tozalash uchun tuzlar, yuqori azot va ifloslanish yuklari, shuningdek, zararkunandalar va kasalliklarning ko'payishi [3, 19, 30]. Shaharning o'zi ham shahar issiqlik effekti (ShIE) ta'siri tufayli qishloq atrofiga qaraganda issiqroq bo'ladi [1, 6, 16]. Iqlim o'zgarishi ShIE ta'sirini va mahalliy yog'ingarchilikning o'zgarishi, issiq iqlimdan kasalliklarning tarqalishi, havo ifloslanishi kabi atrof-muhit bilan bog'liq muammolarni yanada kuchaytirishi kutilmoqda [17]. Bir nechta tadqiqotlar ShIE ning jiddiy ta'sirini tasvirlab berdi, masalan, [31] 2 °C atrofida ShIE ta'sirini ko'rsatdi, Xitoyning megapolislarida topildi. Osiyo shaharlarida 5 dan 8 °C gacha bo'lgan ShIE effekti, Yaponiyaning Tokio shahrida maksimal 12 °C [18] va global yirik shaharlar uchun taxminan 6,5 °C ShIE ini topdi. Hatto Gretsiyaning Krit qirg'og'idagi kichik Evropa shahri uchun yozda 8 °C ShIE effekti kuzatilgan [10]. 2006 yildagi kuchli issiqlik to'liqida Evropada ShIE ta'siri bo'yicha o'tkazilgan yana bir tadqiqot shuni ko'rsatdiki, qiziqki, salqin iqlimi bo'lgan shaharlar issiqlik to'liqlariga nisbatan zaifroq bo'lib tuyuladi. janubiy Yevropa shaharlari esa yaxshiroq moslashgan ko'rinadi [29].

Bularning barchasi daraxtlarning o'sishi va hayotiylikiga ta'sir qiladi, bu esa shahar daraxtlarining qurish darajasini oshiradi va maksimal yoshini qishloq atrofida yoki o'rmon stendlaridagi daraxtlarga nisbatan kamaytiradi [23]. Bir necha turdagi shaharlarda ekilgan daraxtlar yoshi asosan 50 yoshdan kichik [26, 27] ta'kidlaganidek, vaqt o'tishi bilan daraxtlarning ishlashi bo'yicha umidlar ko'pincha faqat tashkil etish muvaffaqiyati sifatida ifodalanadi. Biroq, yaxshi hayotiylik va yuqori keksa daraxtlarning o'sish sur'atlari ham muhim mezonlar shaharning shahar daraxtlari zaxirasi uchun.

Hayotiylik va o'sishga oid ushbu ishlash mezonlariga qo'shimcha ravishda, daraxtlarning iqlimni yumshatish ta'siri ko'pincha shahar daraxtlarining muhim xususiyatlari sifatida nomlanadi, ayniqsa, ShIEi va iqlim o'zgarishi nuqtai

nazaridan [13]. Shahar daraxtlari tomonidan taqdim etiladigan inson uchun bu imtiyozlar ekotizim xizmatlari deb ataladi. Shaharlarda inson termal qulayligi va shahar iqlimini tartibga solish uchun ayniqsa muhim bo'lgan ekotizim xizmatlariga uglerodni saqlash va sekvestrlash kiradi. [4,12] soylash va evapotranspiratsiya orqali sovutish [11, 20, 22], suv oqimini tartibga solish [28], havo ifloslantiruvchi moddalarni filtrlash [25], shovqinni buferlash [24], shuningdek, odamlarning dam olishi va sog'lig'ini yaxshilash [8]. Aksincha, shahar daraxtlarining bir qancha zararli tomonlari ham mavjud, masalan, gulchaglarning allergenligi, axlatning tushishi, ko'chalar va yo'laklarning shikastlanishi [7, 15].

Mazkur turdagi yuqori sifatli, estetik jihatdan chiroyli shaklga ega bo'lgan va standartlarga javob beradigan daraxtlarni yurtimizga yetkazib berish va amaliyotga joriy etishda **"Zamin Plants" MCHJ**ning o'rni beqiyosdir.

Hozirgi kunda ushbu MCHJ yilning har qanday muddatlarida (fasllaridan qat'iy nazar) yirik va manzarali daraxtlarni muvaffaqiyatli ekib o'stirib berish bo'yicha yuqori tajribaga va agronomik salohiyatga ega professionallar jamoasi bilan faoliyat yuritmoqda. Korxonaning bunday yuqori salohiyati keltirilgan o'simliklarning hududlarga to'liq moslashishini kafolatlaydi.

Platanus×hispanica o'zining biologik xususiyatlariga ko'ra O'zbekiston iqlimiga juda mos bo'lib, qurg'oqchilikka, kuchli shamollarga va shahar ekologiyasining zararli gazlariga ancha chidamliligi bilan ajralib turadi. Biroq, Yevropaning sernam iqlimidan so'ng Toshkentning aprel-iyul oylaridagi keskin o'tish davrida o'simlik o'z salohiyatini to'liq namoyon qilishi uchun to'g'ri ekish texnologiyasi, mukammal agrotehnika va muddatlar bo'yicha tizimli oziqlantirish hamda mavsumiy kasalliklarga qarshi tezkor kurash choralari talab etiladi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqot obyekti sifatida "Zamin Plants" MCHJ tomonidan olib kelingan, chiroyli shakllangan va baland estetik ko'rinishga ega bo'lgan **4 va 5 yillik *Platanus×hispanica*** daraxtlari tanlab olindi.

Xalqaro pitomniklardan keltirilgan bu kabi yirik daraxtlar uzoq masofaga transportda tashish jarayonida kuchli stress va "transport shoki"ga duch keladi, bu esa ularning immunitetini pasaytiradi. Shu bois, begona patogenlar kirib kelishi va mahalliy zararkunandalar xavfining oldini olish hamda daraxtlarni shokdan tez fursatda olib chiqish maqsadida, ko'chatlar kelgan dastlabki kuniyoq kompleks va tizimli aralashma (tankovaya smes) yordamida barg va tana qismiga purkash ishlari olib borildi:

1. **Transport shokiga qarshi (Anti-stress):** Kuchli immunomodulyator va adaptogen hisoblangan **"Epin extra"** preparati qo'llanildi. U daraxt hujayralarining himoya funksiyalarini bir zumda faollashtirib, transplantatsion va transport stressini sindirishga xizmat qildi.
2. **Kasalliklarga qarshi (Fungitsid):** Qo'ziqorin infeksiyalari va ildiz chirish patogenlariga qarshi tizimli ta'sirga ega **"Fundazol"** preparati aralashmaga qo'shildi.
3. **Zararkunandalarga qarshi (Insektitsid):** Har xil turdagi bargxo'rlar, shira va bitlarga qarshi keng ta'sir doirasiga ega **"Decis"** preparati qo'llanildi. Ushbu uch komponentli tank aralashmasining (smes) bir vaqtda qo'llanilishi *Platanus×hispanica* daraxtlarining immun tizimini keskin faollashtirdi, transport stressi asoratlarini butunlay bartaraf etdi va ko'chatlarning boshlang'ich yashab qolish ko'rsatkichini **100% fito-sanitar xavfsizlik** bilan ta'minladi.

Ekish texnologiyasi va ildiz tizimini rag'batlantirish

Daraxtlar aprel oyida tuvakda (yopiq ildiz tizimi/konteynerda), o'zining maxsus ozuqaviy substrati bilan birga tuproqqa ko'chirildi. Yopiq ildiz tizimining afzalligi — yilning istalgan vaqtida ekilganda ham yirik daraxtlarning mayda

so'ruvchi ildizlari shikastlanmasligidir.

Ekish jarayonida mualliflar tomonidan quyidagi eng muhim agroteknik qoidalarga qat'iy rioya qilindi:

1. **Ildiz bo'g'zi nazorati:** Ekish jarayonida daraxtning **ildiz bo'g'ziga (root collar)** juda katta e'tibor berildi. Ildiz bo'g'zi mutloq tuproq tagiga ko'milib ketmasligi kerak, aksincha, tuproq yuzasi bilan qat'iy ravishda barobar (bir xil) holatda ko'milishi shart (**1-rasm**). Bu qoida ildiz tana qismining chirishi va daraxt o'sishdan to'xtashining oldini oladi.
2. **Ekish chuqurchasi substrati:** Daraxt ekiladigan chuqurcha tuprog'ini boyitish va mukammal drenaj tizimini yaratish maqsadida maxsus ozuqaviy aralashma tayyorlandi. Chuqurchaga **shag'al, klinets** (suv dimlanib qolmasligi uchun drenaj sifatida), **mahalliy unumdor tuproq, elangan qum, biogumus** (organik ozuqa) va **torf** (namlik va havo almashinuvini yaxshilash uchun) solindi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Ekish bilan bir vaqtda ildiz tizimining ushbu tayyorlangan boy substratga tez moslashishi va yangi ildiz otish faolligini oshirish uchun **"Radifarm"** biostimulyatoridan foydalanildi. Ushbu preparat yon ildizlar arxitektikasini rivojlantirib, daraxtning tuproqdan ozuqa va suvni o'zlashtirish samaradorligini keskin oshirdi.

1-rasm. "Zamin Plants" MCHJ mutaxassislari tomonidan Toshkent shahrida 4–5 yillik *Platanus×hispanica* daraxtini ekish va ildiz bo'g'zini tuproq yuzi bilan tekis muvozanatlash jarayoni.



Adaptatsiya (moslashish) va stressga qarshi choralar. May va iyun oylarida Toshkent shahrida havo haroratining keskin ko'tarilishi va havoning quruqligi o'simlikda transpiratsiya (suv bug'latish) jarayonini tezlashtiradi. Daraxtlarni iqlimiy stressdan (issiq urishi va ultrabinafsha nurlanish) himoya qilish uchun barg orqali oziqlantirish (vnekornevaya podkormka) tizimi qo'llanildi. Buning uchun o'simlik aminokislotalari va immunitetini faollashtiruvchi **"Sirkon"** adaptogen preparati bilan bargdan ishlov berildi.

Bahorgi yog'ingarchiliklar va Antraknoz kasalligiga qarshi tezkor davolash.

Aprel va may oylarida Toshkent shahrida kuzatilgan intensiv yog'ingarchiliklar va yuqori namlik oqibatida chinor daraxtlarida eng ko'p uchraydigan va xavfli hisoblangan **antraknoz (anthracnose)** kasalligining rivojlanishi kuzatildi. Kasallikni tez fursatda bartaraf etish va daraxtning estetik ko'rinishini tiklash maqsadida mualliflar tomonidan maxsus ishlab chiqilgan samarali kombinatsiyalangan aralashma (tankovaya smes) bilan bargdan purkash ishlari olib borildi:

- Tizimli ta'sirga ega kuchli fungitsid — **"Rayok"** preparati;
- Mikroelement hisoblangan — **Temir xelati** (xlorozga qarshi va barg rangini to'q yashil qilish uchun);

- **Magniy sulfat** — (fotosintez jarayonini tezlashtirish va barg immunitetini tiklash uchun).

Ushbu dori va mikroelementlar aralashmasi sepilganda antraknoz kasalligi juda qisqa fursatda butunlay bartaraf etildi, xlorozning oldini olindi hamda barglarning regeneratsiyasi (qayta tiklanishi) jadal faollashdi.

Mineral oziqlantirish va yozgi sug'orish reglamenti. *Platanus×hispanica* o'z vaqtida suv va kerakli mineral oziqalari berib borilganda, o'ta tez o'sishi bilan yaqqol ajralib turadi. Mualliflarning amaliy tajribasida daraxtlarni bosqichma-bosqich oziqlantirish quyidagi sxema asosida muvaffaqiyatli amalga oshirildi:

May oyining birinchi o'n kunligi: Daraxtlarning ildiz tizimi orqali yuqori azot saqlovchi **NPK 30-10-10** mineral o'g'iti maxsus texnika yordamida berildi (**2-rasm**). Bu o'g'it aprel oyida ekilgan 4-5 yillik chinorlarning yashil massasini (barg va novdalarini) jadal rivojlantirishga xizmat qildi.

2-rasm. May oyining birinchi o'n kunligi davomida *Platanus×hispanica* daraxtlarini ildiz tizimi orqali yuqori azot saqlovchi NPK 30-10-10 mineral o'g'iti bilan oziqlantirish va agrotexnik nazorat jarayoni.



Iyun oyining birinchi o'n kunligi: Daraxtlarning tana va ildiz tizimini baquvvat qilish hamda yozgi issiqqa chidamliligini oshirish maqsadida teng nisbatdagi **NPK 20-20-20** mineral o'g'itlar majmuasi ildiz orqali berildi.

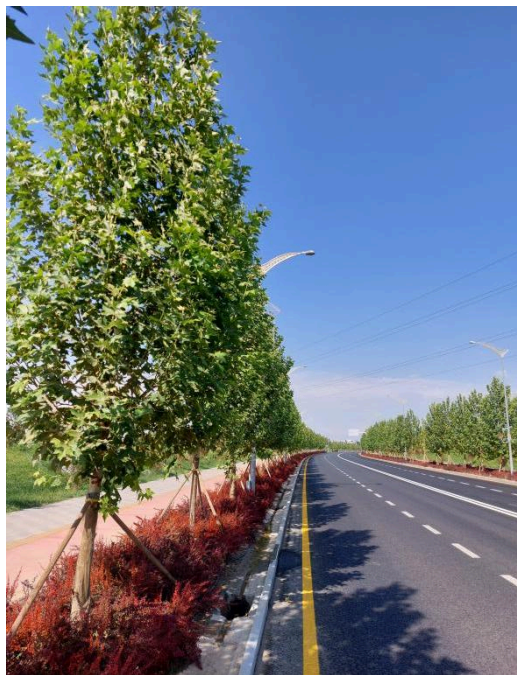
Yozgi sug'orish tartibi (Iyun-Iyul): Iyul oyining jazirama "chilla" kunlarida kunduzgi issiqda sug'orish ildiz tizimini dimlab qo'yishini hisobga olib, sug'orish ishlari qat'iy ravishda **har kuni kechki payt (quyosh botgandan so'ng)** amalga oshirildi. Sug'orish normasi har bir tup daraxt uchun **kuniga 40 litrni** tashkil etdi.

XULOSA VA TAVSIYALAR

Toshkent shahrida olib borilgan aprel–iyul oylaridagi amaliy tajribamiz *Platanus×hispanica* turini muvaffaqiyatli yetishtirish bo'yicha quyidagi xulosalarni beradi:

1. Yurtimiz iqlimiga to'liq mos keluvchi chiroyli shakldagi 4-5 yillik *Platanus×hispanica* ko'chatlarini "Zamin Plants" MCHJ kabi yilning istalgan davrida professional darajada ekib berish tajribasiga ega korxonalardan xarid qilish tavsiya etiladi.

2. **Ekish qoidalari:** Ekish paytida ildiz bo'g'zini mutloq tuproq ostiga ko'mmaslik, uni tuproq yuzasi bilan teng qoldirish hamda chuqurchaga shag'al klinets, tuproq, qum, biogumus va torfdan iborat maxsus boyitilgan substrat solish daraxtning 100% yashab qolishini kafolatlaydi.
3. **Bahorgi fito-sanitariya va davolash:** Aprel-may oylaridagi kuchli yog'ingarchilik davrida chinorlarda antraknoz kasalligi rivojlanishining oldini olish va davolash uchun "Rayok" fungitsidini Temir xelati va Magniy sulfat mikroo'g'itlari bilan aralashtirib bargdan purkash o'ta yuqori va tezkor samara beradi. **(3-rasm).**



3-rasm. Toshkent shahrida muvaffaqiyatli akklimatizatsiya qilingan 4-5 yillik Platanus x hispanica daraxtlarining shakllangan estetik va manzarali ko'rinishi.

1. To'g'ri agrotexnika (may oyi boshida NPK 30-10-10, iyun oyi boshida NPK 20-20-20 va yoz chillasida har kuni kechasi 40 litrdan suv berish) bajarilganda, ushbu turning o'ta yuqori, tez o'sishi va go'zal estetik ko'rinishiga erishish mumkin

ADABIYOTLAR

1. Akbari H., Pomerantz M., Taha H. 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. Solar Energy. 70(3):295–310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
2. Bühler O., Kristoffersen P., Larsen S.U. 2006. Growth of street trees in Copenhagen with emphasis on the effect of different establishment concepts. Arboriculture & Urban Forestry. 5(33):330–337.
3. Cekstere G., Nikodemus O., Osvalde A. 2008. Toxic impact of the de-icing material to street greenery in Riga, Latvia. Urban Forestry & Urban Greening. 7(3):207–217. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2008...>
4. Davies Z.G., Edmondson J.L., Heinemeyer A., Leake J.R., Gaston K.J. 2011. Mapping an urban ecosystem service: Quantifying above-ground carbon storage at a citywide scale. Journal of Applied Ecology. 48(5):1125–1134. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.0>
5. Day S.D., Bassuk N.L., van Es H. 1995. Effects of four compaction remediation methods for landscape trees on soil aeration, mechanical impedance and tree establishment. Journal of Arboriculture. 22:144–150.

6. Day S.D., Wiseman P.E., Dickinson S.B., Harris J.R. 2010. Contemporary concepts of root system architecture of urban trees. *Arboriculture & Urban Forestry*. 4(36):149–157.
7. Escobedo F.J., Kroeger T., Wagner J.E. 2011. Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*. 159(8–9):2078–2087. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010>
8. Gómez-Baggethun E., Barton D.N. 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*. 86:235–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
9. Grabosky J., Bassuk N.L. 1995. A new urban tree soil to safely increase rooting volumes under sidewalks. *Journal of Arboriculture*. 21:187–201.
10. Kolokotsa D., Psomas A., Karapidakis E. 2009. Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete. *Solar Energy*. 83(10):1871–1883. <https://doi.org/10.1016/j.solener.20>
10. Konarska J., Uddling J., Holmer B., Lutz M., Lindberg F., Pleijel H., Thorsson S. 2016. Transpiration of urban trees and its cooling effect in a high latitude city. *International Journal of Biometeorology*. 60(1):159–172. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1014-x>
11. Liu C., Li X. 2012. Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry & Urban Greening*. 11(2):121–128. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.03.002>
12. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC, USA: Island Press. 137 p. <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
13. Zhou D., Zhao S., Liu S., Zhang L., Zhu C. 2014. Surface urban heat island in China's 32 major cities: Spatial patterns and drivers. *Remote Sensing of Environment*. 152:51–61. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.017>
14. Moser A., Rötzer T., Pauleit S., Pretzsch H. 2018. Stadtbäume: Wachstum, Funktionen und Leistungen – Risiken und Forschungsperspektiven. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*. 188(5/6):94–111. <https://doi.org/10.23765/afjz0002006>
15. Oke T. 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 108(455):1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
16. Oliveira S., Andrade H., Vaz T. 2011. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*. 46(11):2186–2194. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.034>