

Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. 2019. No 8 (134). pp. 55-60 [in Russian]

2. Bochkova I., Bobyleva O. The issue of using the nonconventional assortment of flower plants in Moscow landscape gardening. *Lesnoy vestnik*. 2018. No 3. pp. 128-132 [in Russian]

3. Kisova S., Bessmolnaya M., Korsunova T. Environmental assessment of urban soils of Ulan-Ude city in growing ornamental plants. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy seskokhozyaystvennoy akademii imeni V.R. Filippova*. 2016. No 4. pp. 26-32 [in Russian]

4. Lushnikova T., Bronskakh E. The influence of the properties of soil and soil "strong" on the germination and growth of seedlings of marigolds of the Bolero variety. *Zyryanovskiye chteniya: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konf.* Kurgan. Kurgan State University. 2015. pp. 269-271 [in Russian]

5. Mandra Yu. Assessment of the state of urban soils by morphometric indicators of seedlings of test plants. Proc. of III Int. Sci. and Pract. conf. "Application of modern resource-saving innovative technologies in the agro-industrial complex". Stavropol. "Stavropol Publishing House Paragraph". 2013. pp. 143-146 [in Russian]

6. Pashina M., Korsunova T., Imeskenova E. Agro-physical assessment of the soil cover of green plantings of park zones of Ulan-Ude. Proc. of Sci. and Pract. Conf. "Actual problems of the development of the agrarian sector of the Baikal region". Ulan-Ude. 2019. pp. 53-57 [in Russian]

7. Frolov M., Gornova M. Modern techniques of gardening in confined building of city. Far East: problems of development of the architectural and construction complex. 2014. No 1. pp. 195-199 [in Russian]

УДК 621.396.9:630*2(470.4)

DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.019

М.В. Мартынова

ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ГОРОДСКИХ ЛЕСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Ключевые слова: городские леса, трансформация, космический снимок, ГИС-технологии, вегетационный индекс, мониторинг.

В статье приводится оценка трансформации городских лесов г. Уфы, в том числе с использованием ГИС-технологий. Определено, что большую часть территории Уфимского городского лесничества занимают лиственные насаждения – 90,6 % от покрытой лесом площади, хвойные – 4,2 %. Насаждения территорий общего пользования г. Уфы в 2019 г. составили 1236,5 га, в числе которых преобладают парки – 66,6 %. Расположение насаждений территорий общего пользования по районам города неравномерное: наибольшее распространение объекты получили в Кировском районе (37,7 %). Корреляционная зависимость между площадью зеленых насаждений и площадью административных районов составила $r = 0,14 \pm 0,03$. Увеличение площади насаждений территорий общего пользования подтверждает анализ площади земель по типам подстилающей поверхности г. Уфы за 1987-2018 гг., проведенный на основе расчета вегетационного индекса ARVI по космоснимкам Landsat-5 и Landsat-8. Выявлен существенный рост площади, занятой древесно-кустарниковой растительностью +10875,2 га, при сокращении типа поверхности «открытая почва» – -2666,07 га и «без растительности» – -1393,83 га ($t_{\text{выч.}} = -0,002$; $t_{0,05 \text{ табл.}} = 2,306$). Трансформация городской территории за 30-летний период обусловлена не только увеличением площади зеленых насаждений территорий общего пользования, но и строительством дорог, зданий, сооружений.

M. Martynova

**ASSESSMENT OF URBAN FORESTS TRANSFORMATION
USING GIS TECHNOLOGIES**

Keywords: urban forests, transformation, satellite image, GIS technologies, vegetation index, monitoring.

The article provides an assessment of the urban forests transformation in Ufa, including the use of GIS technologies. Determined that most of the territory of the Ufa urban forestry is deciduous plantings – 90,6 % of the forested area, conifers and 4.2 %. Planting of the public areas of Ufa in 2019 amounted to 1236,5 hectares, which is dominated by parks 66.6 per cent. The location of plantings areas in the city districts is uneven: the greatest spread of objects received in the Kirov district (37,7 %). The correlation between the area of green spaces and the area of administrative districts was $r = 0.14 \pm 0.03$. The increase in the area of plantings in public areas is confirmed by the analysis of land area by types of underlying surface of Ufa for 1987-2018, conducted on the basis of calculating the vegetation index ARVI from Landsat-5 and Landsat-8 satellite images. A significant increase in the area occupied by woody and shrubby vegetation +10875.2 ha, with a reduction in the surface type "open soil" -2666.07 ha and "without vegetation" -1393.83 ha (tvych. = -0,002; $t_{0.05}$ table = 2,306). The transformation of the urban area over a 30-year period is due not only to an increase in the area of green spaces in public areas, but also to the construction of roads, buildings, and structures.

Мартынова Мария Викторовна, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация; e-mail: maaarusssia@mail.ru

Mariya V. Martynova, Associate Professor, Chair of Forestry and Landscape Design, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, e-mail: maaarusssia@mail.ru

Введение. Зеленое пространство играет важнейшую роль, влияя на условия городской среды и энергообмен через поглощение солнечной радиации и модуляцию этапа транспирации, участвуя в фильтрации городских водных систем и уменьшении ливневого стока [9, 10]. Большинство исследований указывает на значительные социальные, экономические и эстетические ценности, связанные с городской растительностью [3, 4, 7]. Поэтому в городских условиях лесные насаждения являются основным средством поддержания естественных природных экосистем, улавливания и хранения углерода, а также сохранения биоразнообразия. Стремительная урбанизация является доминирующей движущей силой экосистем и деградации природной среды по всему миру [11]. Это повлечет за собой существенные изменения землепользования и почвенного покрова в городских районах, которые будут непосредственно

влиять на услуги городских экосистем через потерю сельскохозяйственных и лесных земель и увеличение площади застройки [10].

Важной проблемой является непрерывность мониторинга за состоянием насаждений. Экспериментальные исследования по городскому лесному хозяйству невелики и большинство из них имеют продолжительность не более 5 лет, что меньше 10-25-летнего периода времени, необходимого для понимания динамики древостоя. При разработке системы мероприятий по устранению негативных последствий на состояние природной среды необходим всесторонний анализ состояния городских лесов, что позволит сохранить количественный и качественный состав насаждений [2, 5].

Целью работы является оценка трансформации городских лесов, в том числе с использованием космических снимков.

Объекты и методика исследований. Исследования проводили в городских лесах и насаждениях общего пользования на территории г. Уфы. При учете лесов, характеристике системы озеленения г. Уфы использованы лесоустроительные документы, материалы государственного лесного реестра (ГЛР), Лесного плана РБ [1], лесохозяйственные регламенты. Исследования с применением методов ГИС-технологий и дистанционного зондирования выполнены по спутниковым снимкам Landsat-5 и Landsat-8, обработанным в программах ArcGIS. Для оценки динамики типов подстилающей поверхности г. Уфы 1987 и 2018 гг. использованы значения вегетационного индекса, устойчивого к влиянию атмосферы (ARVI).

ARVI вычислен по следующей формуле: $ARVI = (NIR - Rb) / (NIR + Rb)$, (1) где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; BLUE – отражение в синей области спектра, $Rb = RED - a * (RED - BLUE)$: в основном, $a = 1$, если покрытие растительностью незначительное и тип атмосферы неизвестен, $a = 0,5$ [6]. Для расчета индекса ARVI дешифрованы два космических снимка территории г. Уфы разного периода времени. Первый снимок сделан 19.06.1987 г. спутником Landsat-5, ID P166R022_5X19870619, второй снимок сделан 24.06.2018 г. спутником Landsat-8, ID LC08_L1TP_166022_20180624_20180704_01_T1. Они обработаны при помощи пакета программ ArcGis 10.5. Каналы, необходимые для вычисления данного индекса, указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Каналы спутников для расчета индекса ARVI

Landsat-5	Landsat-8
Канал 1 – синий	Канал 2 – синий
Канал 3 – красный	Канал 4 – красный
Канал 4 – ближний инфракрасный (NIR)	Канал 5 – ближний инфракрасный (NIR)

Статистическая обработка произведена с использованием пакетов прикладных программ Statistica 6.0. Достоверность оценки потенциальных корреляционных связей выполнена по критерию Стьюдента ($td^{*}0,05$). Значимость уравнения оценивалась по коэффициенту корреляции (r).

Результаты и обсуждение. Леса Республики Башкортостан, располагающиеся на землях городских поселений, в пределах городской черты являются городскими и в лесной фонд не входят. Земли населенных пунктов Республики Башкортостан, на которых расположены леса, занимают 29204 га. Большая часть этой категории приходится на Уфимское городское лесничество, площадь которого, по государственному лесному реестру на 01.01.2020 г. и по материалам лесоустройства 2017 г., составляет 21767 га. Территория Уфимского городского лесничества разделена на пять производственных участков с выделением основных организационно-ориентационных лесо-

учетных единиц лесного предприятия – кварталов. Большую часть занимают лиственные насаждения (90,6 % от покрытой лесом площади). Мяголиственные преобладают – 63,3 % от покрытой лесом площади, твердолиственные виды составляют 27,3, хвойные – 4,2 %. Возрастная структура лесов в значительной степени определяет их количественные и качественные изменения, наблюдается неравномерность распределения по группам возраста у всех пород (% от общей площади): в наибольшей степени представлены средневозрастные насаждения – 42,1, спелые и перестойные занимают 32,4, приспевающие – 20,1 и молодняки – 5,4. Среди хвойного хозяйства доминируют молодняки, у твердолиственных – спелые насаждения со средним возрастом в 77 лет, перестойные леса из дуба черешчатого низкоствольного достигают 130 лет и выше. По показателям продуктивности насаждения отнесены к среднему классу бонитета – II,6. Закрытый тип ландшафта составляет 56,6 % (12331,8 га),

полуоткрытый представлен на 36,2 % территории. Незначительные площади лесов представлены открытым типом ландшафта – 7,2 %.

Город Уфа характеризуется высокой сосредоточенностью насаждений территорий общего пользования (ОП). По данным МУП «Горзеленхоз», в 2009 г. в их ведении было 227,4 га площади насаждений ОП, расположенных в черте города, в 2018 г. – 233,09 га. Насаждения территорий ОП в 2019 г. расположены на площади в 1236,5 га, куда входят парки: По-

беды – 125,0, КиО им. М. Гафури – 75,60, им. М. Калинина – 70,0, им. И. Якутова – 14,52, им. Н. Гастелло – 14,5; им. Ленина – 5,4, Уфимского домостроительно-фанерного комбината – 4,0, Демский – 5,0, Затона – 5,0 и другие. Расположение по районам города их неравномерно: наибольшее распространение они получили в Кировском районе (37,7 %). Далее по площади объектов следуют Советский (20,1 %), Орджоникидзевский (17,1 %), Октябрьский районы (14,0 %, табл. 2).

Таблица 2 – Насаждения территорий общего пользования г. Уфы

Район	Площадь района, га	Население, чел	Типы территорий общего пользования, га/шт.				Итого	
			Скверы	Бульвары	Парки	Другие территории	га	%
Октябрьский	13613	243205	14,13/9	-	113,8/2	44,92/11	172,85	14,0
Ленинский	7090	85974	3,99/5	-	10,8/1	-	14,79	1,2
Советский	1620	177719	32,92/20	1,30/1	59,62/4	155,11/8	248,95	20,1
Орджоникидзевский	14600	166479	6,81/6	0,71/1	147,2/4	56,2/10	210,92	17,1
Калининский	20100	203873	7,71/7	-	94,7/3	-	102,41	8,3
Демский	5637	74701	3,67/3	-	15,0/2	1,85/3	20,52	1,7
Кировский	13100	163609	23,79/15	-	382,4/5	59,87/5	466,06	37,7
Всего	75760	1115560	93,0/65	2,0/2	823,5/21	318,0/37	1236,5	100,0

Планировочная структура г. Уфы сложена таким образом, что самые большие парки расположены по периферии, их территориальное размещение крайне неравномерно, в этой связи в дополнение к ним создавались скверы и бульвары на площади 58,4 га. В составе насаждений ОП г. Уфы преобладают парки (66,6 %), большая часть которых по площади расположена в Кировском районе (382,4 га), наименьшая в Ленинском – 10,8 га. Графическая зависимость площади зелёных насаждений и площади административных районов города (рис. 1) описывается уравнением вида $y=0,0035x+138,6833$, с коэффициентом корреляции $r = 0,14 \pm 0,03$.

С развитием технологии дистанционного зондирования возможна оценка структуры насаждений с помощью космических снимков. Спутниковые данные

Landsat являются наиболее эффективными наборами данных и охватывают большие площади. Анализ космических снимков Landsat 5,8 показал, что значение индекса ARVI находится в пределах от -0,975904 до 0,4406809 для снимка 1987 г. Для 2018 г. ARVI находится в границах от -0,612876 до 1. С помощью инструмента «Переклассификация» сгруппированы получившиеся пиксели на 5 групп: водные объекты, без растительности, открытая почва, травянистая растительность и древесно-кустарниковая растительность.

После проведения визуального анализа получены результирующие карты идентификации заданных типов подстилающей поверхности (рис. 2). В итоге рассчитаны площади для всех идентифицированных типов попиксельно (табл. 3). Определено,

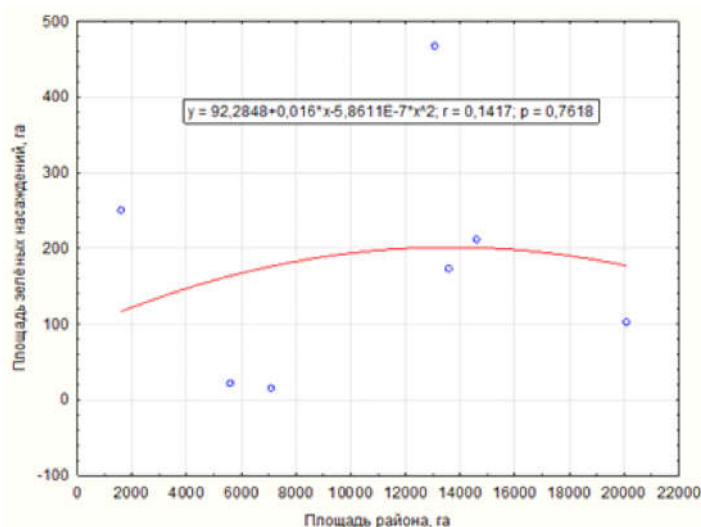


Рисунок 1. Связь площади зелёных насаждений и площади районов г. Уфы

что за период с 1987 по 2018 г. произошел существенный рост площади, занятой древесно-кустарниковой растительностью (+10875,2 га), при закономерном сокращении территорий, отнесенных к типу «открытая почва» – -2666,07 га и «без растительности» – -1393,83 га. Достоверность различий между площадью типов подстилающей поверхности 1987 и 2018 гг. не противоречит нулевой гипотезе

($t_{\text{выч.}} < t_{\text{табл.}}$, $p > 0,05$, $P_t > 95\%$). Это объясняется увеличением площади одного типа подстилающей поверхности при закономерном уменьшении другого. Как показали результаты классификации для типов подстилающих поверхностей г. Уфы, тип «Водные объекты» более точно идентифицировался используемыми методами автоматической классификации.

Таблица 3 – Площади различных типов подстилающей поверхности, по результатам дешифрирования космоснимков

Тип подстилающей поверхности	Площадь, га		Изменения 2018 г. к 1987 г.	
	1987	2018	га	%
Водные объекты	2887,92	3412,89	524,97	18,2
Открытая почва	3783,06	1116,99	-2666,07	-70,5
Без растительности	9907,29	8513,46	-1393,83	-14,1
Травянистая растительность	38994	31653,7	-7340,31	-18,8
Древесно-кустарниковая растительность	15925,4	26800,7	10875,2	68,3

$t_{\text{выч.}} = -0,002$; $t_{0,05 \text{ табл.}} = 2,306$

Проблемными для автоматического распознавания оказались тип «открытая почва», который частично смешивался с типом «без растительности». Следует отметить, что пространственное разрешение КА Landsat-8 и облачность сказались на идентификации древесно-кустарниковой и травянистой растительности.

Заключение. Как показали результаты исследований, площадь насаждений территорий ОП на одного жителя г. Уфа составляет 11 м²/чел. и постепенно при-

ближается к установленным в России нормам – 16 м²/чел. Мы исследовали зависимость площади зелёных насаждений и площади административных районов города и выявили слабую корреляционную связь ($r = 0,14 \pm 0,03$). Нашими исследованиями установлено, что трансформация городской территории за 30-летний период обусловлена не только увеличением площади зелёных насаждений территорий общего пользования, но и строительством дорог, зданий, сооружений. Аналогичные резуль-

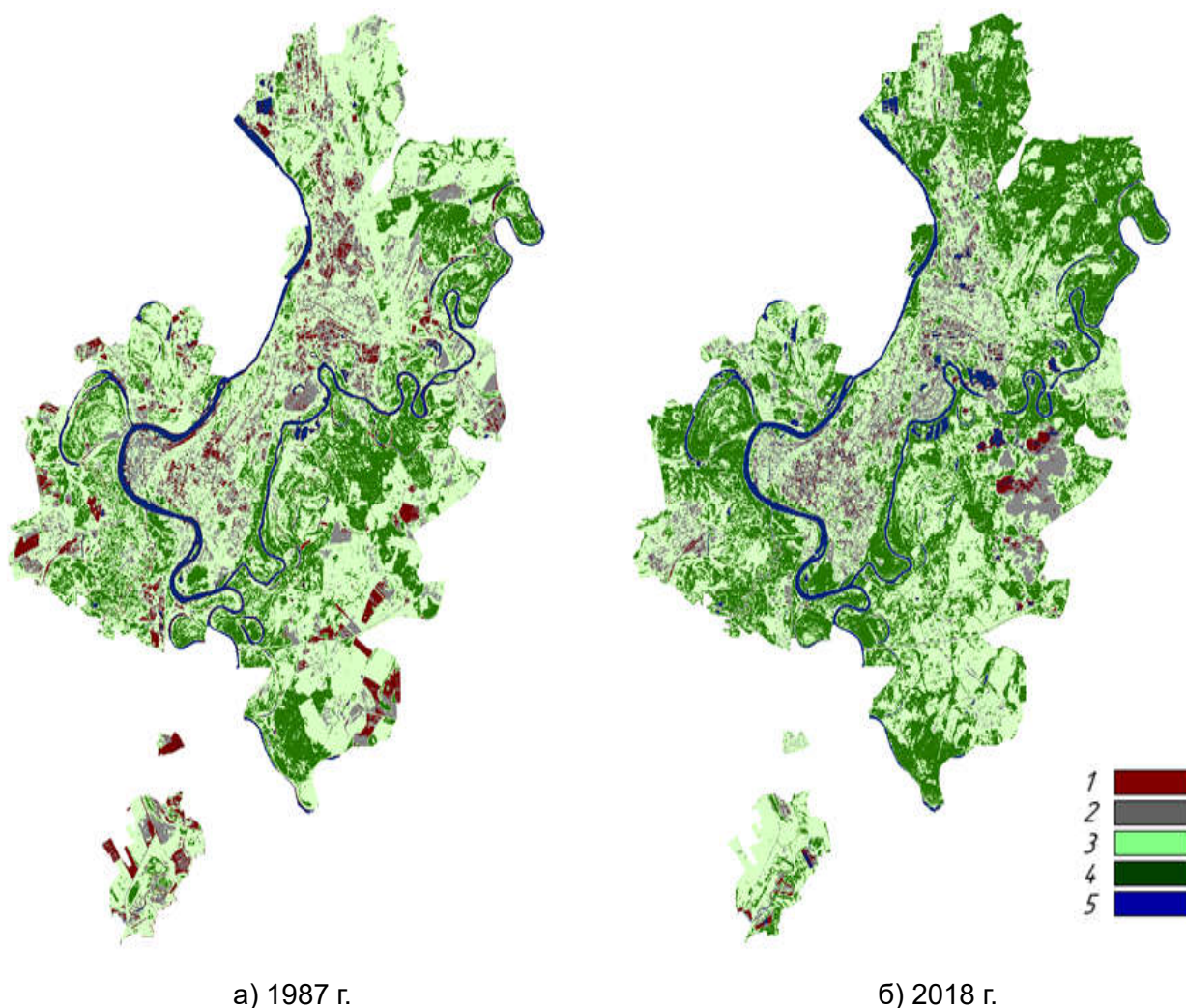


Рисунок 3. Идентификация типов подстилающей поверхности г. Уфы с использованием ГИС-технологий: 1 – открытая почва; 2 – без растительности; 3 – травянистая растительность; 4 – древесно-кустарниковая растительность; 5 – водные объекты

таты, полученные в ходе других исследований, подчеркивают потенциал зарегистрированных исторических данных Landsat, которые предоставляют экстраординарную возможность для наблюдения и определения сдвигов лесных территорий города [12].

Библиографический список

1. Об утверждении Лесного плана Республики Башкортостан: Указ Главы Республики Башкортостан от 27.12.2018 г. № УГ-340. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/550343065> (дата обращения 11.01.2021).
2. Бухарина И.Л., Двоеглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях: монография – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. – 184 с.
3. Корсунова Т.М., Имескенова Э.Г., Иевская А.А. Инвентаризация зеленых насаждений в устойчивом развитии г. Улан-Удэ // Агротуризм в устойчивом развитии сельских территорий: мат-лы международной научно-практической конференции. – Улан-Удэ, 2018. – С. 77-86.
4. Рунова Е.М., Гнаткович П.С. Видовой состав зеленых насаждений общего пользования г. Братска // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 2 (18). – С. 156-159.
5. Рысин С.Л., Трусов Н.А., Яценко И.О. Особенности организации мониторинга ценных древесных растений на урбанизированных территориях // Лесной вестник. – 2015. – С.140-144.
6. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. – 2009. – № 3. – С.28-32.
7. Liu L., Coops N.C., Aven N.W., Pang Y. Mapping urban tree species using integrated

airborne hyperspectral and LiDAR remote sensing data // *Remote Sens Environ.* – 2017. – pp. 170-82.

8. Menberg K., Bayer P., Zosseder K., Rumohr S., Blum P. Subsurface urban heat islands in German cities. *Sci. Total Environ.* 2013, 442, 123–133. pmid:23178772

9. Nowak D.J., Dwyer J.F. Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems // *Urban and Community Forestry in the Northeast.* – 2007. – pp. 25-46

10. Rajchandar P., Bhowmik A. K., Cabral P., Zamyatin A., Almegdadi O., Wang S. Modelling Urban Sprawl Using Remotely Sensed Data: A Case Study of Chennai City, Tamilnadu. *entropy* – 2017. – P. 163.

11. Shackleton S., Chinyimba A., Hebinick P., Shackleton C., Kaoma H. Multiple benefits and values of trees in urban landscapes in two towns in northern South Africa // *Landscape and Urban Planning.* – 2015. – Volume 136, April. – pp. 76-86

12. Weisberg P.J., Shandra O, Becker ME Landscape influences on recent timberline shifts in the Carpathian Mountains: abiotic influences modulate effects of land-use change // *Arct Antarct.* – 2013. – pp. 404-414

1. *Ob utverzhdanii Lesnogo plana Respubliki Bashkortostan: Ukaz Glavy Respubliki Bashkortostan ot 27.12.2018 g. № UG-340. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550343065> (data obrashcheniya 11.01.2021)* [in Russian].

2. Buharina I.L., Dvoeglazova A.A. Bioecological features of herbaceous and woody plants in urban plantings. Izhevsk: *Izd-vo «Udmurtskij universitet».* 2010. 184 p. [in Russian].

3. Korsunova T.M., Imeskenova E.G., Ievskaya A.A. Inventory of green plants in sustainable development of Ulan-Ude. Proc. of Int. Sci. and Pract. Conf. “*Agritourism in sustainable rural development*”. 2018. pp. 77-

86 [in Russian].

4. Runova E.M., Gnatkovich P.S. Species composition of public access plantings in Bratsk. *Systems. Methods. Technologies.* 2013. № 2 (18). pp. 156-159 [in Russian].

5. Rysin S.L., Trusov N.A., Yatsenko I.O. Features of organisation of monitoring of the valuable woody plants in urbanized areas. *Forestry Bulletin.* 2015. pp. 140-144 [in Russian].

6. Cherepanov A., Druzhinina E. Spectral characteristics of vegetation and vegetation indexes. *Geomatika.* 2009. № 3. pp. 28-32 [in Russian].

7. Liu L., Coops N.C., Aven N.W., Pang Y. Mapping urban tree species using integrated airborne hyperspectral and LiDAR remote sensing data. *Remote Sens Environ.* 2017. pp. 170-82.

8. Menberg K., Bayer P., Zosseder K., Rumohr S., Blum P. Subsurface urban heat islands in German cities. *Sci. Total Environ.* 2013. 442. 123–133. pmid:23178772.

9. Nowak D.J., Dwyer J.F. Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems. *Urban and Community Forestry in the Northeast.* 2007. pp. 25-46.

10. Rajchandar P., Bhowmik A. K., Cabral P., Zamyatin A., Almegdadi O., Wang S. Modelling Urban Sprawl Using Remotely Sensed Data: A Case Study of Chennai City, Tamilnadu. *Entropy.* 2017. 163 p.

11. Shackleton S., Chinyimba A., Hebinick P., Shackleton C., Kaoma H. Multiple benefits and values of trees in urban landscapes in two towns in northern South Africa. *Landscape and Urban Planning.* 2015. Volume 136. April. pp. 76-86.

12. Weisberg P.J., Shandra O, Becker ME Landscape influences on recent timberline shifts in the Carpathian Mountains: abiotic influences modulate effects of land-use change. *Arct Antarct.* 2013. pp. 404-414.