

Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация

Статья оригинальная

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-99-103>

УДК 630*911:502/504:630.627



ОЦЕНКА НАЧАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСОПАРКОВЫХ ЗОН, СОЗДАВАЕМЫХ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Т.И. Сулейманов, Т.М. Тахмазов

Национальное аэрокосмическое агентство; г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация. Статья посвящена разработке методов оценки состояния начального развития лесопарковых зон, создаваемых в пригородных зонах. Цель исследований: рассмотреть возможность введения мультипликативного показателя, в равной степени учитывающего указанные показатели, исследовать его экстремальные характеристики для однородных и гетерогенных земельных участков. Рассмотрена взаимосвязь фактора C из универсального уравнения почвенных потерь и веса сухой биомассы лиственных деревьев, которые в свою очередь находятся в регрессионной зависимости от NDVI (Normalized difference vegetation index, Нормализованный вегетационный индекс) – числового показателя качества и количества древесной растительности на участке. Для оценки начального состояния развития городской лесопарковой зоны предложены два критерия. Показано, что первый критерий имеет минимум при некотором значении NDVI. Второй критерий представлен в виде функционала, содержащего функцию взаимосвязи NDVI и фактора C . Определено, что экстремаль этого функционала имеет вид функции обратной зависимости NDVI и фактора C . Реальное существование такой обратной зависимости между NDVI и C открывает новые возможности для использования этого функционала в метрологии.

Ключевые слова: лесопарковые зоны, урбанизация, растительность, почва, оптимизация

Формат цитирования: Сулейманов Т.И., Тахмазов Т.М. Оценка начального развития лесопарковых зон, создаваемых на урбанизированных территориях // Природообустройство. 2024. № 1. С. 99-103. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-99-103>

Original article

ASSESSMENT OF THE INITIAL DEVELOPMENT OF FOREST PARK ZONES CREATED IN URBANIZED AREAS

T.I. Suleymanov, T.M. Tahmazov

National Aerospace Agency; Baku, Republic of Azerbaijan

Abstract. The article is devoted to the development of methods for assessing the state of initial development of forest park zones created in suburban areas. The purpose of the research is to consider the possibility of introducing a multiplicative indicator that equally takes into account these indicators, to study its extreme characteristics for homogeneous and heterogeneous land plots. The relationship between factor C from the universal equation of soil losses and the weight of dry biomass of deciduous trees which, in turn, are regression dependent on NDVI (Normalized difference vegetation index), a numerical indicator of the quality and quantity of woody vegetation on the site, is considered. Two criteria are proposed to assess the initial state of development of the urban forest park zone. It is shown that the first criterion has a minimum at a certain NDVI value. The second criterion is presented in the form of a functional containing the function of the relationship between NDVI and factor C . It is determined that the extreme of this functional has the form of a function of the inverse relationship between NDVI and factor C . The real existence of such an inverse relationship between NDVI and C opens up new opportunities for using this function in metrology.

Keywords: development of forest park zones, urbanization, vegetation, soil, optimization

Format of citation: Suleymanov T.I., Tahmazov T.M. Assessment of the initial development of forest park zones created in urbanized areas // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 99-103. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-99-103>

Введение. Как отмечается [1], только в США ожидается расширение городского ландшафта в течение 2010-2060 гг. на 38,6 млн га. Степень покрытия пригородных зон растительностью играет важную роль в экологическом состоянии городов и в локальных климатических изменениях, происходящих в урбанизированных регионах.

В условиях быстрой урбанизации поддерживаемое развитие городов имеет определяющее значение [2, 3]. Одними из показателей такого развития урбанизированных зон являются восстановление городских лесопарковых зон и увеличение степени покрытия земель растительностью [4, 5]. Вместе с тем развитие урбанизированных территорий и территорий больших городов происходит за счет освоения тех пригородных сел и поселений, которым охвачены практически все большие города. Население таких сел и поселений, интенсивно занимаясь различными видами сельского хозяйства, активно эксплуатирует землю. В итоге это приводит к необходимости учета состояния пригородных земельных участков, планируемых к переходу во владение городских муниципалитетов.

Одна из наиболее распространенных методик определения уровня эрозионности вновь осваиваемых земель – применение Универсального уравнения потерь почвы (USLE), которое является оценкой среднегодовых земельных потерь [6], определяемой по формуле:

$$A = R \cdot k \cdot LS \cdot C \cdot P, \quad (1)$$

где A – среднегодовая оценка почвенных потерь земли; R – фактор эрозионности ввиду дождей; k – фактор эрозионной почвы; LS – топографический фактор; C – фактор,

характеризующий степень покрытия земли растительностью, а также практику управления такими земельными участками; P – фактор, характеризующий практику консервации указанных земель.

Из вышеуказанных 5 факторов наиболее оперативно управляемым следует считать фактор C [6], так как остальные факторы являются либо инерционными (R, k, P), либо неуправляемыми (LS).

Следует отметить, что C -фактору посвящено значительное количество опубликованных работ [6-8]. Как отмечается [6], C -фактор для незаросшей почвы равен единице и уменьшается до нуля для хорошо развитого растительного участка.

Вместе с тем, как утверждается [9], для городских лесопарковых участков разработано слишком малое количество аллометрических уравнений, способных оценить биомассу растительности. Так, для лиственных деревьев предложен [9] показатель веса сухой биомассы в деревьях, определяемый как

$$DWB = a_1 \cdot \exp(\beta_1 \cdot NDVI_b), \quad (2)$$

где $a_1, \beta_1 = const$.

Логарифмические кривые, соответствующие обратной функции выражения (2), для вечнозеленых и лиственных деревьев приведены на рисунке 1 [9].

Как представляется, характеристика городских лесопарковых зон типа (2) характеризует только установившийся период их развития. Вместе с тем на начальном этапа формирования лесопарковой полосы на базе бывших пригородных сельскохозяйственных участков следует

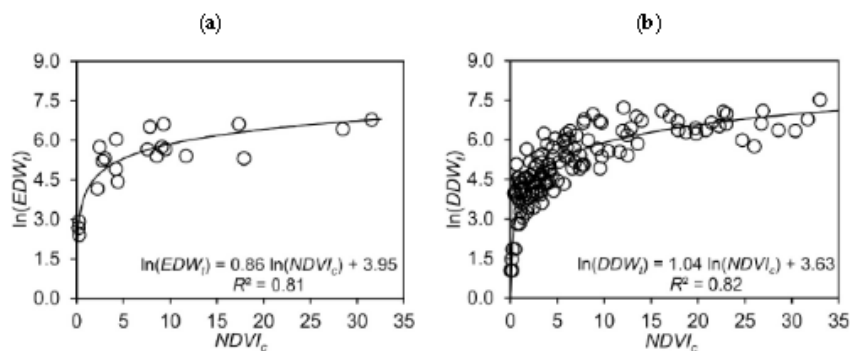


Рис. 1. Кривые логарифмической зависимости между DWB для вечнозеленых (а) и лиственных деревьев (б) от NDVI [9]:

EDW-DWB для вечнозеленых деревьев; DDW-DWB для лиственных деревьев

Fig. 1. Logarithmic dependence curves between DWB for evergreen (a) and deciduous trees (b) from NDVI [9]:

EDW-DWB for evergreen trees; DDW-DWB for deciduous trees

руководствоваться более объективным показателем, совместно учитывающим показатели C и DWB .

Цель исследований: рассмотреть возможность введения мультипликативного показателя, в равной степени учитывающего указанные показатели, исследовать его экстремальные характеристики для однородных и гетерогенных земельных участков.

Материалы и методы исследований.

Нами предлагается два показателя состояния начального развития лесопарковых зон в урбанизированных территориях – соответственно для однородных и гетерогенных земельных участков, включенных в лесопарковый массив. Рассмотрим эти показатели.

1. Для однородных участков предлагается следующий показатель:

$$\eta_1 = C \cdot DWB. \quad (3)$$

С учетом (1)-(3) получим

$$\eta_1 = (1,02 - 1,21 \cdot NDVI) \cdot a_1 \exp(\beta_1 NDVI). \quad (4)$$

Исследуем (4) на экстремум от $NDVI$. Имеем

$$\frac{d\eta_1}{dNDVI} = -1,21 \cdot a_1 \exp(\beta_1 NDVI) + (1,02 - 1,21 NDVI) \cdot a_1 [\exp(\beta_1 NDVI)] \cdot \beta_1. \quad (5)$$

Для определения оптимального режима приравняем (5) к нулю. Имеем

$$1,21 = (1,02 - 1,21 NDVI) \beta_1. \quad (6)$$

Из (6) получаем

$$NDVI = \frac{1,02}{1,21} - \frac{1}{\beta_1}. \quad (7)$$

Очевидно, что при решении (7) η_1 достигает максимальной величины, так как вторая производная η_1 по $NDVI$ всегда является отрицательной величиной. Следовательно, при некоторой величине $NDVI$, определяемой выражением (7), предлагаемый универсальный показатель однородного земельного участка, характеризующий как почвенные потери, так и сухую биомассу, достигает максимума. При этом левее этого максимума почву земельного участка можно считать относительно «потерянной», а правее максимума – относительно «добротной».

2. Для гетерогенных земельных участков, включаемых в создаваемую лесопарковую зону, предлагается следующая процедура оценки их состояния.

Допускаем, что существует упорядоченное множество $\{C_i\}; i = 1, n$, где C_i – величина

фактора C на i -м участке. Упорядоченность указанного множества характеризуется следующим условием:

$$C_i = C_{i-1} + \Delta C; \Delta C = const; i = \overline{1, n}; C_0 = 0. \quad (8)$$

Применительно к i -му участку показатель η_2 имеет вид:

$$\eta_{2i} = C_i \cdot DWB. \quad (9)$$

Для всех i получим

$$\eta_{0.g.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{2i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \cdot DWB_i. \quad (10)$$

От дискретной модели (10) условно перейдем на непрерывную модель. Имеем

$$\eta_{0.H.} = \frac{1}{C_{max}} \int_0^{C_{max}} C \cdot DWB dC. \quad (11)$$

С учетом (2) выражение (11) перепишем как

$$\eta_{0.H.} = \frac{1}{C_{max}} \int_0^{C_{max}} C \cdot [a_1 \exp(\beta_1 NDVI)] dC. \quad (12)$$

Целью оптимизационного исследования является нахождение такой функциональной зависимости $NDVI = f(C)$, при которой (12) достиг бы экстремальной величины.

Для решения указанной задачи несколько сузим пространство непрерывных и дважды дифференцируемых функций и будем искать оптимальную зависимость между $NDVI$ и C , наложив на эту зависимость следующее ограничение:

$$\int_0^{C_{max}} NDVI(C) dC = C_1; C_1 = const. \quad (13)$$

С учетом (12) и (13) сформируем задачу безусловной вариационной оптимизации, целевой функционал F которой имеет вид:

$$F = \frac{1}{C_{max}} \int_0^{C_{max}} C \cdot [a_1 \exp(\beta_1 NDVI(C))] dC - \lambda \left[\int_0^{C_{max}} NDVI(C) dC - C_1 \right], \quad (14)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Согласно [10] решение данной задачи должно отвечать условию:

$$\frac{d\{C \cdot [a_1 \exp(\beta_1 NDVI(C))] - \lambda NDVI(C)\}}{dNDVI} = 0. \quad (15)$$

Из условия (15) получаем

$$C \cdot a_1 [\exp(\beta_1 NDVI(C))] \cdot \beta_1 - \lambda = 0. \quad (16)$$

Из (16) находим

$$\exp(\beta_1 NDVI(C)) = \frac{\lambda}{C a_1 \beta_1}. \quad (17)$$

Из (17) получаем

$$NDVI(C) = \frac{1}{\beta_1} \ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1}. \quad (18)$$

Для вычисления вставим (18) в (13).

Получаем

$$\int_0^{C_{max}} \frac{1}{\beta_1} \ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} dC = C_1. \quad (19)$$

Из (19) находим

$$\frac{\ln \lambda}{\beta} - \frac{1}{\beta_1} \int_0^{C_{max}} \left[\ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} \right] dC = C_1. \quad (20)$$

Из (20) получаем

$$\ln \lambda = \left[C_1 + \frac{1}{\beta_1} \int_0^{C_{max}} \left[\ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} \right] dC \right] \beta. \quad (21)$$

Из (21) имеем

$$\lambda = \exp \left[\beta_1 \cdot C_1 + \frac{1}{\beta_1} \int_0^{C_{max}} \left[\ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} \right] dC \right]. \quad (22)$$

С учетом (18) и (22) получим

$$NDVI = \frac{1}{\beta_1} \left[\beta_1 \cdot C_1 + \frac{1}{\beta_1} \int_0^{C_{max}} \left[\ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} \right] dC \right] - \frac{1}{\beta_1} \ln(Ca_1\beta_1) \quad (23)$$

или
$$NDVI = C_2 - \frac{1}{\beta_1} \ln(Ca_1\beta_1), \quad (24)$$

где
$$C_2 = C_1 + \frac{1}{\beta_1} \int_0^{C_{max}} \left[\ln \frac{\lambda}{Ca_1\beta_1} \right] dC. \quad (25)$$

При решении (24) функционал (14) достигает минимума, так как повторная производная (16) по $NDVI(C)$ оказывается всегда положительной величиной.

Таким образом, функционал F , как и показатель $\eta_{0.H.}$, достигает минимума при обратной пропорциональной связи между $NDVI$ и C , что согласно [9] вполне возможно. Следовательно, в реальной практике следует ожидать экстремальной величины оценки η_2 , что делает функционал F вполне полезным для оценки начального состояния лесопарковой зоны.

Результаты и их обсуждение. Прежде всего обсудим реальность полученного результата существования обратной зависимости между показателем C и индексом $NDVI$. Как отмечается [6, 7], широко используется линейное регрессионное уравнение между C фактором и $NDVI$ как

$$C = 1,02 - 1,21 \cdot NDVI. \quad (26)$$

В то же время известны факты экспоненциальной аппроксимации указанной зависимости [8]. График линейной регрессионной зависимости (26) приведен на рисунке 2.

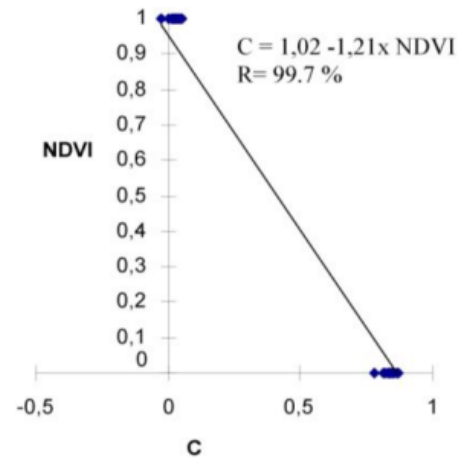


Рис. 2. График регрессионной зависимости между C -фактором и $NDVI$ [7]

Fig. 2. Graph of regression dependence between C -factor and $NDVI$ [7]

Очевидно, что строгая линейность указанной зависимости является абстракцией, и для учета всевозможных искривлений линии нами было применено ограничительное условие (13), допускающее выбор из некоторого подмножества кривых, отвечающих этому условию.

Таким образом, сформулирована и решена задача функциональной оценки состояния начального развития лесопарковых зон, создаваемых на урбанизированных территориях.

Для функциональной оценки начального состояния развития городской лесопарковой зоны, создаваемой на базе бывших пригородных сельскохозяйственных участков, предложены два критерия. Показано, что первый из предлагаемых критериев имеет минимум при некотором значении $NDVI$. Этот признак может быть использован для осуществления автоматической оценки значения указанного индекса, характеризующего начальное развитие лесопарковой зоны. Второй критерий имеет вид функционала, зависящего от функции взаимосвязи $NDVI$ и C -фактора. Показано, что этот функционал достигает своего минимума при наличии обратной зависимости $NDVI$ и C -фактора, что может свидетельствовать о состоянии нормального развития лесопаркового участка. Этот признак может быть использован для осуществления автоматической оценки состояния нормального развития лесопаркового участка.

Выводы

Проанализирован вопрос об оценке состояния начального развития лесопарковых зон, создаваемых в урбанизированных пригородных зонах. Исследована взаимосвязь фактора C из метода USLE (универсального

уравнения почвенных потерь) и веса сухой биомассы лиственных деревьев, которые в свою очередь находятся в регрессионной зависимости от NDVI.

Для оценки начального состояния развития городской лесопарковой зоны, создаваемой на базе бывших пригородных сельскохозяйственных участков, предложены два критерия. Показано, что первый из предлагаемых критериев имеет

минимум при некотором значении NDVI. Второй критерий имеет вид функционала, зависящего от функции взаимосвязи NDVI и С-фактора. Показано, что экстремаль этого функционала имеет вид функции обратной зависимости NDVI и фактора С. Наличие в реальности обратной зависимости NDVI и С открывает возможности для использования этого функционала в метрологических целях.

Список использованных источников

1. **Nowak D.J., Greenfield E.J.** US urban forest statistics, values and projections // J. For. 2018. № 116. Pp. 164-177.
2. **Andersson E.** Urban landscapes and sustainable cities // Ecol. Soc. 2006. № 11. Pp. 1-17.
3. **Cohen M.** A systematic review of urban sustainability assessment literature // Sustainability. 2017. № 9. P. 2048.
4. **E. Gregory McPherson, Simpson J.R., Xiao Q., Wu C.** Los-Angeles 1 million tree canopy cover assessment (general technical report PSW-GTR-207) // USDA forest service, Pacific Southwest Research Station: Albany, CA, USA. 2008.
5. **Grove J.M., O'Neil-Dunne J., Pelletier K., Nowak D., Walton J.** A report on New York city's present and possible urban tree canopy // USDA forest service. Northern research station: Newtown Square, PA, USA. 2006.
6. **Patil R.J., Sharma S.K.** Remote sensing and GIS based modeling of crop/cover nmanagement factor C of USLE in Shakker river watershed // International conference on chemical, agricultural and medical sciences (CAMS-2013). 2013. Dec. 29-30. Kuala Lumpur (Malaysia).
7. **Karaburun A.** Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed // Ozean Journal of Applied Sciences. 2010. № 3(1).
8. **Schmidt S., Alewell C., Meusburger K.** Mapping spatio-temporal dynamics of the cover and management factor (C-factor) for grasslands in Switzerland // Remote Sensing of Environment. 2018. № 211. Pp. 89-104.
9. **Wu J.** Developing general equations for urban tree biomass estimation with high-resolution satellite imagery // Sustainability 2019. № 11. P. 4347. DOI: 10.3390/su11164347.
10. **Эльсгольц Л.Е.** Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1974. 432 с.

Об авторах

Тофик Ибрагим оглы Сулейманов, д-р техн. наук, профессор; journal_anasa@yahoo.com

Табриз Мубариз оглы Тахмазов, докторант; Thmzovtbriz66@gmail.com

Критерии авторства / Criteria of authorship

Сулейманов Т.И., Тахмазов Т.М. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of Interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации. / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 20.06.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review vided 10.12.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 10.12.2023

References

1. **Nowak D.J., Greenfield E.J.** US urban forest statistics, values and projections // J. For. 2018. № 116. Pp. 164-177.
2. **Andersson E.** Urban landscapes and sustainable cities // Ecol. Soc. 2006. № 11. Pp. 1-17.
3. **Cohen M.** A systematic review of urban sustainability assessment literature // Sustainability. 2017. № 9. P. 2048.
4. **E. Gregory McPherson, Simpson J.R., Xiao Q., Wu C.** Los-Angeles 1 million tree canopy cover assessment (general technical report PSW-GTR-207) // USDA forest service, Pacific Southwest Research Station: Albany, CA, USA. 2008.
5. **Grove J.M., O'Neil-Dunne J., Pelletier K., Nowak D., Walton J.** A report on New York city's present and possible urban tree canopy // USDA forest service. Northern research station: Newtown Square, PA, USA. 2006.
6. **Patil R.J., Sharma S.K.** Remote sensing and GIS based modeling of crop/cover nmanagement factor C of USLE in Shakker river watershed // International conference on chemical, agricultural and medical sciences (CAMS-2013). 2013. Dec. 29-30. Kuala Lumpur (Malaysia).
7. **Karaburun A.** Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed // Ozean Journal of Applied Sciences. 2010. № 3(1).
8. **Schmidt S., Alewell C., Meusburger K.** Mapping spatio-temporal dynamics of the cover and management factor (C-factor) for grasslands in Switzerland // Remote Sensing of Environment. 2018. № 211. Pp. 89-104.
9. **Wu J.** Developing general equations for urban tree biomass estimation with high-resolution satellite imagery // Sustainability 2019. № 11. P. 4347. DOI: 10.3390/su11164347.
10. **Elsgolts L.E.** Differential equations and calculus of variations. Moscow, Nauka Publ., 1974. 432 p.

Author information

Tofik I. ogly Suleymanov, doctor of technical sciences, professor; journal_anasa@yahoo.com

Tabris M. ogly Tahmazov, doctoral student; Thmzovtbriz66@gmail.com

Suleymanov T.I., Tahmazov T.M. performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have copyright on the article and are responsible for plagiarism.