ГЕОГРАФИЯ ПЛОТНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ В РЕДКОЛЕСЬЯХ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ НА ТЕРРИТОРИИ ОВРАЖНО-БАЛОЧНОЙ СЕТИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

П.А. Украинский, Э.А. Терехин

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
pa.ukrainskiy@gmail.com, terekhin@bsu.edu.ru

Аннотация. В течение последних двух десятилетий в Белгородской области наблюдается заселение овражно-балочной сети древесной растительностью. Одна из форм этого процесса – это образование редколесий. В представленном исследовании изучается плотность деревьев в таких редколесьях. На территории области изучено 200 площадок размером 1 га. На площадках по мозаикам космических снимков закартографировано положение деревьев. На основе этих данных путем интерполяции построены карты изменения плотности деревьев в редколесьях. Чтобы отобразить локальное варьирование, использована интерполяция методом обратно-взвешенного расстояния. Для выявления тенденций на субрегиональном и региональном уровне использована сглаживающая интерполяция с радиусами поиска 20 и 50 км соответственно. Для локального уровня получена пестрая картина без явно выраженных закономерностей. На субрегиональном уровне при перемещении с запада на восток идет чередование участков с повышенной и пониженной плотностью деревьев в редколесьях. На региональном уровне наблюдается постепенное уменьшение плотности деревьев в редколесьях при перемещении с северо-запада на юго-восток.

Ключевые слова: плотность деревьев, редколесья, Белгородская область, картографирование, овражно-балочная сеть.

Естественный растительный покров лесостепи Среднерусской возвышенности обычно разделяют на два компонента. Это леса и степи. Но кроме лесов и степей здесь существует еще один компонент – редколесья [1]. Редколесья Среднерусской возвышенности изучены гораздо слабее, чем сохранившиеся до настоящего времени участки степей и лесов. Существующие исследования касаются в основном редколесий, произрастающих в степных заповедниках, либо формирующихся на залежных землях [2;3;4].

В последние 20 лет на территории Белгородской области наблюдается расселение древесной растительности из лесов и лесополос в овражно-балочную сеть [5]. Оно может быть связано как с текущими климатическими изменениями, так и с сокращением пастбищной и сенокосной нагрузки. Расселение древесной растительности в одних случаях происходит в виде разрастания лесополос и продвижения границы леса. В других случаях в овражно-балочной сети образуются редколесья. Они могут быть как постоянными растительными сообществами, так и сукцессионной стадией на пути к формированию сомкнутых лесных сообществ.

Редколесья до настоящего времени в масштабах всей Белгородской области еще не изучались. Представленная работа является первой попыткой такого исследования. Его целью является оценка плотности размещения деревьев в редколесьях и создание карты изменения этого показателя на территории Белгородской области.

Исследование включает в себя три последовательных этапа:

- поиск на территории Белгородской области редколесий, произрастающих в овражно-балочной сети и на склонах речных долин (редколесья в поймах и на залежах, а также участки искусственного лесонасаждения из анализа исключались);
- векторизация отдельно стоящих деревьев;
- создание карт плотности деревьев в редколесьях.

В качестве исходных материалов, по которым изучались редколесья, использовались мозаики космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения, предоставляемые картографическими веб-сервисами, в первую очередь GoogleMap[6]. Работа с мозаиками космических снимков осуществлялась в программе QGIS 3.10, куда они загружались при помощи плагина QuickMapServices [7].

На первом этапе работы выполнялось визуальное дешифрирование мозаик космических снимков, целью которого был поиск редколесий. Всего было обнаружено 200 участков овражно-балочной сети, на которых произрастают редколесья. Площадь таких участков колеблется от 2 до 63 га, в среднем составляя 11 га.

На втором этапе было создано два векторных слоя – полигональный слой площадок и точечный слой деревьев. В каждом из 200 обнаруженных редколесий была выделена площадка размером 1 га. По территории Белгородской области выделенные

площадки распределены равномерно, что подтверждается результатами теста Кларка-Эванса (для теста с граничной коррекцией критерий $R=1,44$, $p=0,002$). Расстояние от площадки до ближайшей площадки колеблется от 4,0 до 17,4 км. Средняя его величина составляет 8,9 км, а стандартное отклонение – 2,5 км.

В границах 200 площадок были отвекторизованы все деревья. Далее была подсчитана плотность размещения деревьев на каждой площадке, и занесена в таблицу атрибутов полигонального слоя. После этого на основе слоя площадок был создан точечный слой центроидов полигонов, который на третьем этапе работы использовался для создания растров методом интерполяции.

В соответствие с концепцией полимасштабной организации ландшафтов [8] мы предполагали, что география плотности деревьев в редколесьях различна на разных пространственно-иерархических уровнях. Поэтому отдельно были рассмотрены три уровня – региональный, субрегиональный и локальный. Региональный уровень в нашем случае охватывает территорию всей Белгородской области. Субрегиональному уровню соответствуют отдельные физико-географические районы и их части. Локальный уровень сводится к отдельным местностям.

Чтобы создать картографическую визуализацию изменения плотности деревьев в редколесьях на разных иерархических уровнях, применялись разные способы интерполяции. Создание растров с помощью интерполяции было выполнено в среде статистических вычислений R [9] с использованием дополнительного пакета *spatstat* [10].

Для локального уровня растр был создан интерполяцией по методу обратно взвешенных расстояний. Для субрегионального и регионального уровней растр создавался путем сглаживающей интерполяции, в основе которой лежит расчет локально взвешенного среднего по формуле Надарая-Уотсона [11;12]. При взвешивании использовалось ядро Гаусса. Радиус поиска для субрегионального уровня был задан равным 20 км, для регионального уровня – 50 км. При создании растров методом сглаживающей интерполяции применялась граничная коррекция способом, который предложил в 1985 году P.J. Diggle [13].

Для 200 исследованных площадок максимальная плотность деревьев в редколесьях составила 415,0 шт/га, а минимальная плотность – 21,0 шт/га. В среднем плотность равна 111,2 шт/га, а ее стандартное отклонение – 62,7 шт/га.

Полученные карты плотности деревьев в редколесьях показаны на рисунках 1, 2 и 3. На локальном уровне наблюдается весьма пестрая картина изменения плотности деревьев в редколесьях (рис. 1). Высокие и низкие значения встречаются в любой

части Белгородской области. При этом переход от высоких значений к низким во многих местах происходит на расстоянии всего лишь 25–30 км.

Ареалы высоких и низких значений на локальном уровне включают в себя от трех до десяти площадок. Встречаются отдельные площадки, представляющие собой пространственные выбросы. Присутствуют как выбросы высоких значений (площадки с высокими значениями плотности, все соседи которых имеют низкие значения), так и выбросы низких значений (площадки с низкими значениями плотности, все соседи которых имеют высокие значения).

В отличие от локального уровня (рис. 1), на субрегиональном уровне заметны явно выраженные закономерности. При перемещении с запада на восток наблюдается чередование участков с повышенной и пониженной плотностью размещения деревьев. При этом пространственные выбросы высоких или низких значений на субрегиональном уровне не обнаруживаются.

Участки повышенной плотности охватывают преимущественно средние и нижние части бассейнов крупных рек. Всего можно выделить три таких участка – западный (нижняя часть бассейна Ворсклы, бассейн рек Ворсклица и Илека), центральный (нижние части бассейнов Северского Донца и Нежеголя) и восточный (бассейны Тихой Сосны и Усердца). Восточный участок является наибольшим по площади, а на центральном участке достигаются наибольшие значения плотности деревьев в редколесьях.

Участки пониженной плотности деревьев в редколесьях на субрегиональном уровне тяготеют к водоразделам крупнейших рек, а также к верхним частям их бассейнов (рис. 2). Таких участков три. Наиболее крупный из них находится в центре области и охватывает водораздел Северского Донца и Оскола, верхние части бассейнов рек Оскол, Сейм, Нежеголь, Корень, Короча. Уменьшение плотности деревьев в редколесьях здесь наблюдается при продвижении с юга на север. Еще два участка пониженной плотности деревьев в редколесьях находятся на юго-востоке (бассейн Айдара) и северо-западе (водораздел Ворсклы и Псела, бассейн Пены) Белгородской области.

На региональном уровне чередование участков повышенной и пониженной плотности деревьев отсутствует. Вместо него наблюдается однонаправленное увеличение плотности деревьев в редколесьях в направлении с северо-запада на юго-восток (рис. 3). Максимальные ее значения достигаются на стыке трех физико-географических районов – Осколо-Донецкого, Придонского мелового и Калитвинского. Также как на субрегиональном уровне, на региональном уровне отсутствуют пространственные выбросы высоких или низких значений плотности деревьев в редколесьях.

Рис. 1. География плотности размещения деревьев в редколесьях на локальном уровне

Рис. 2. География плотности размещения деревьев в редколесьях на субрегиональном уровне

Рис. 3. География плотности размещения деревьев в редколесьях на региональном уровне

Полученные в ходе представленного исследования карты являются для Белгородской области первой попыткой картографирования редколесий и их характеристик, выполненной в масштабах всего региона. В дальнейшем они могут послужить основой для планирования целого комплекса исследований, направленных на изучение факторов распространения редколесий, динамики развития ред-

колесий, а также роли редколесий в современных изменениях ландшафтов Белгородской области. Все эти сведения необходимы для рациональной организации хозяйственного использования овражно-балочной сети.

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-35-20018 мол_а_вед).

Список литературы

1. Мильков Ф.Н. О естественных ландшафтах юга Русской равнины // Известия РАН. Серия географическая. 1995. № 5. С. 5–18.
2. Ганнибал Б.К., Недвига В.В. Фитоценотические параметры степных редколесий (на примере Ямской степи) // Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. I часть.- Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 133–137.
3. Рыжкова Г.А. Рыжков О.В. Распространение древесно-кустарниковых видов на некосимых залежах Казацкого участка Центрально-Черноземного заповедника // Растительный покров Центрально-Черноземного заповедника: Труды Центрально-Черноземного государственного заповедника. Тула: Гриф и К°, 2001. Вып. 18. С. 94–224.
4. Украинский П.А., Терехин Э.А. Картографирование древесной растительности плодово-кустарниковых лесостепных редколесий на основе спутниковых снимков на примере участка Ямская степь заповедника «Белогорье» // Науки о Земле. 2016. № 1. С. 5–12.
5. Терехин Э.А., Чендев Ю.Г. Анализ пространственно-временных изменений лесистости на юге лесостепи Среднерусской возвышенности по спутниковым данным // Лесоведение. 2019. № 4. С. 257–265.
6. Потапов Г.В. Геоинформационные Web-сервисы на базе мозаик спутниковых снимков // Пространственные данные. 2008. №. 3. С. 18–23.
7. Khare S., Dandriyal A. Employing Open Source GIS (QGIS) for Retrieving and Generating Satellite Image // Proceedings of National Conference on Open Source GIS: Opportunities and Challenges. Varanasi: Department of Civil Engineering, IIT (BHU), 2015. P. 1–6.

8. *Хорошев А. В.* Полимасштабная организация географического ландшафта. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 416 с.;
9. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2020. URL: <https://www.R-project.org/>.
10. *Baddeley A., Rubak E., Turner R.* Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R. London: Chapman and Hall/CRC Press, 2015. 828 p.
11. *Nadaraya E. A.* On Estimating Regression // Theory of Probability and its Applications. 1964. V. 9. № 1. P. 141–142.
12. *Watson G. S.* Smooth regression analysis // Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series A. 1964. V. 26. № 4. P. 359–372
13. *Diggle P.J.* A kernel method for smoothing point process data // Applied Statistics (Journal of the Royal Statistical Society, Series C). 1985. V.34. P. 138–147.

GEOGRAPHY OF THE TREES DENSITY IN OPEN WOODLANDS THAT ARE FORMED ON THE TERRITORY OF THE EROSIONAL NETWORK IN THE BELGOROD REGION

P.A. Ukrainskiy, E.A. Terekhin

Belgorod National Research University
pa.ukrainskiy@gmail.com, terekhin@bsu.edu.ru

Abstract. Over the past two decades, in the Belgorod region there has been a spread of woody vegetation along the erosional network. One of the forms of this process is the formation of open woodlands. In this work, we research the density of trees in such light forests. On the territory of the Belgorod region, we chose 200 sites with an area of 1 ha each. We mapped trees inside the sites using mosaics of satellite images Google Map. For this, we used the QGIS program and the plugin Quick Map Services. Based on these data, by interpolation, maps of changes in the density of trees in open woodlands were constructed. To show local variation, interpolation by the method of inverse-weighted distance is used. To identify trends at the subregional and regional level, we applied smoothing interpolation (based on a locally weighted mean according to the Nadaraya-Watson formula.) with a bandwidth of 20 and 50 km, respectively. We performed the interpolation in the environment for statistical computing R using an additional spatstat package. Among 200 plots, tree density ranged from 21 to 415 pcs / ha. On average, it was equal to 111.2 pcs / ha. At the local level, there are no clearly visible patterns. At the subregional level, alternation occurs when moving from west to east areas with increased and reduced density of trees open woodlands. At the regional level, there is a decrease in tree density when moving from the northwest to the southeast.

Keywords: tree density, open woodlands, Belgorod region, mapping, erosional network.

References

1. *Mil'kov F.N.* O estestvennykh landshaftakh yuga Russkoy ravniny [On the natural landscapes of the south of the Russian Plain]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 1995, no. 5, pp. 5–18. (In Russian).
2. *Gannibal B.K., Nedviga V.V.* Fitotsenoticheskie parametry stepnykh redkolesiy (na primere Yamskoy stepi) [Phytocenotic parameters of steppe open woodlands (on the example of the Yamskaya steppe)]. In: *Aktual'nye problemy geobotaniki. III Vserossiyskaya shkola-konferentsiya. I chast'* [Actual problems of geobotany. III All-Russian school-conference. I part.]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2007, pp. 133–137. (In Russian).
3. *Ryzhkova G.A., Ryzhkov O. V.* Rasprostraneniye drevesno-kustarnikovyykh vidov na nekositnykh zalezakh Kazatskogo uchastka Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika [Distribution of tree-shrub species on the mowless fallow land of the Cossack cluster of the Central Chernozem Nature Reserve]. In: *Rastitel'nyy pokrov Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika: Trudy Tsentral'no-Chernozemnogo gosudarstvennogo zapovednika* [Vegetation cover of the Central Black Earth Reserve: Proceedings of the Central Chernozem Nature Reserve]. Tula: Grif and Co, 2001, vol. 18, pp. 94–224. (In Russian).
4. *Ukrainskiy P.A.* Kartografirovaniye drevesnoy rastitel'nosti plodovo-kustarnikovyykh lesostepnykh redkolesiy na osnove sputnikovyykh snimkov na primere uchastka Yamskaya step' zapovednika «Belogor'e» [The mapping of tree vegetation in fruit-shrub open woodlands of forest steppe on the base of remote sensing data (on example of site Yamskaya steppe of "Belogorye" nature reserve)]. *GeoScience*, 2016, no. 1, pp. 5–12. (In Russian).
5. *Terekhin E.A., Chendev Yu. G.* Analiz prostranstvenno-vremennykh izmeneniy lesistosti na yuge leso-stepi Srednerusskoy vyzvshennosti po sputnikovym dannym [Satellite-derived spatiotemporal variations of forest cover in southern forest-steppe, the Central Russian upland]. *Lesovedeniye* [Forest science.], 2019, no. 4, pp. 257–265. (In Russian).
6. *Potapov G. V.* Geoinformatsionnye Web-servisy na baze mozaik sputnikovyykh snimkov [Geoinformation web-services based on satellite imagery mosaics]. *Prostranstvennyye dannye* [Spatial Data], 2008, no. 3, pp. 18–23. (In Russian).
7. *Khare S., Dandriyal A.* Employing Open Source GIS (QGIS) for Retrieving and Generating Satellite Image. In: *Proceedings of National Conference on Open Source GIS: Opportunities and Challenges*. Varanasi: Department of Civil Engineering, IIT (BHU), 2015. pp. 1–6. (In English).
8. *Khoroshev A. V.* Polimasshtabnaya organizatsiya geograficheskogo landshafta [Multiple organization of geographical landscape]. Moscow: KMK Scientific Press, 2016, 416 p. (In Russian).
9. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2020. URL: <https://www.R-project.org/>.
10. *Baddeley A., Rubak E., Turner R.* Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R. London: Chapman and Hall/CRC Press, 2015, 828 p. (In English).
11. *Nadaraya E. A.* On Estimating Regression. *Theory of Probability and its Applications*, 1964, vol. 9, no. 1, pp. 141–142. (In English).
12. *Watson G. S.* Smooth regression analysis. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series A*, 1964, vol. 26, no. 4, pp. 359–372 (In English);
13. *Diggle P.J.* A kernel method for smoothing point process data. *Applied Statistics (Journal of the Royal Statistical Society, Series C)*, 1985, vol. 34, pp. 138–147. (In English).