

ЗОНАЛЬНЫЕ И ПРОВИНЦИАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ПЛОТНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ В РЕДКОЛЕСЬЯХ ОВРАЖНО-БАЛОЧНОЙ СЕТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

П.А. Украинский

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
pa.ukrainski@gmail.com

Аннотация. Изучены географические закономерности изменения плотности деревьев в редколесьях овражно-балочной сети Центрального Черноземья и Орловской области. Исходными данными для анализа послужили результаты дешифрирования отдельно стоящих деревьев по мозаикам космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения. Для доступа к мозаикам этих снимков использовались общедоступные картографические веб-сервисы. Дешифрирование было выполнено для 400 учетных площадок. Площадь каждой из них составляет 1 га. Исходные данные после отсеивания выбросов были сгруппированы по геоморфологическим провинциям и растительным зонам. Для группирования данных были использованы схемы районирования, по которым на территории Центрального Черноземья выделяется две геоморфологические провинции (Среднерусская возвышенность и Окско-Донская низменность) и три растительные зоны (широколиственные леса, лесостепь и степь). При сравнении групп было обнаружено, что на Среднерусской возвышенности плотность деревьев в редколесьях в среднем выше, чем на Окско-Донской равнине. А при смене растительных зон средняя плотность размещения деревьев в редколесьях увеличивается в южном направлении. Непараметрический дисперсионный анализ на основе перестановочного теста (NP MANOVA) показал, что оба фактора (провинциальный и зональный) являются статистически значимыми. А взаимодействия факторов статистически значимым не является. Влиянием провинциального фактора объясняется 10 % дисперсии значений плотности деревьев в редколесьях. Влиянием зонального фактора объясняется 3 % дисперсии. Остальные 87 % дисперсии могут быть объяснены влиянием различных локально действующих факторов.

Ключевые слова: плотность деревьев, редколесья, Центральное Черноземье, растительные зоны, геоморфологические провинции.

На территории Центрального Черноземья можно наблюдать две формы территориальной экспансии древесно-кустарниковой растительности. Первая форма – это расширение существующих лесов, при такой форме от «материнской стены леса» вперед продвигается молодой сомкнутый древостой. За счет этого современные леса частично восстанавливают некогда утраченную площадь [1]. Помимо лесов разрастание наблюдается также у прибалочных лесополос [2].

Вторая форма экспансии древесно-кустарниковой растительности, которой посвящена эта работа, – это расселение одиночных деревьев внутри травостоев с образованием сообществ подобных редколесьям. В такой форме расселяются в основном яблоня, груша, боярышник и шиповник. Реже к ним примешивается дуб и другие лесные виды. Такие редколесья для Центрального Черноземья первоначально были описаны

на примере степных заповедников, прежде всего Ямской степи. Ф.Н. Мильков называл их плодово-кустарниковой саванной [3]. Чаще же в литературе их обозначают как плодовые редколесья [4] или лугово-степные редколесья [5].

Плотность размещения деревьев в лугово-степных редколесьях интересна тем, что она отражает влияние сложной совокупности факторов. Она связана со временем, в течение которого идет расселение древесно-кустарниковой растительности, связана с благоприятностью условий для закрепления и произрастания деревьев и кустарников, а также с факторами, препятствующими их расселению. К препятствующим факторам в настоящее время относится в первую очередь хозяйственная деятельность человека – выпас скота, сенокосение, выжигание сухой травы. В естественных условиях такую роль играли стада диких копытных.

Задача этой работы – выделение географических закономерностей в изменении плотности размещения деревьев в редколесьях Черноземья и Орловской области. Исходные данные для решения этой задачи были собраны в рамках более ранних работ [6; 7]. В ходе предыдущих исследований на территории овражно-балочной сети Центрального Черноземья и Орловской области было выбрано 400 учетных площадок. Площадь каждой из них составляет 1 га. На учетных площадках были картографированы отдельно стоящие деревья и подсчитано их количество. Для картографирования использовались мозаики высокдетальных космических снимков, загружаемых в программу QGIS с помощью модуля QuickMapService.

В полученных данных о плотности деревьев в редколесьях наблюдается весьма пестрая картина пространственных изменений (рис. 1). Такая пестрота сохраняется даже после удаления выбросов [8]. Это затрудняет выявление географических закономерностей. Чтобы облегчить их обнаружение, можно использовать два подхода.

Первый подход заключается в генерализации карты плотности деревьев с помощью сглаживающей интерполяции. Он описан в ряде предыдущих публикаций [6; 7]. Второй подход, на котором основана эта работа, заключается в группировании данных, сравнении групп друг с другом и выявлении различий. В рамках этого подхода учетные площадки были сгруппированы в соответствии с провинциальным и зональным факторами.

Провинциальный фактор заключается в принадлежности к геоморфологической провинции, зональный фактор – в принадлежности к растительной зоне. Территория Центрального Черноземья и Орловской области относится к двум геоморфологическим провинциям – провинции Среднерусской возвышенности и провинции Окско-Донской низменности [9]. Через эту территорию проходит три растительных зоны – широколиственные леса, лесостепь и степь [10].

Анализ данных, сгруппированных по геоморфологическим провинциям и растительным зонам, был выполнен в среде для статистиче-

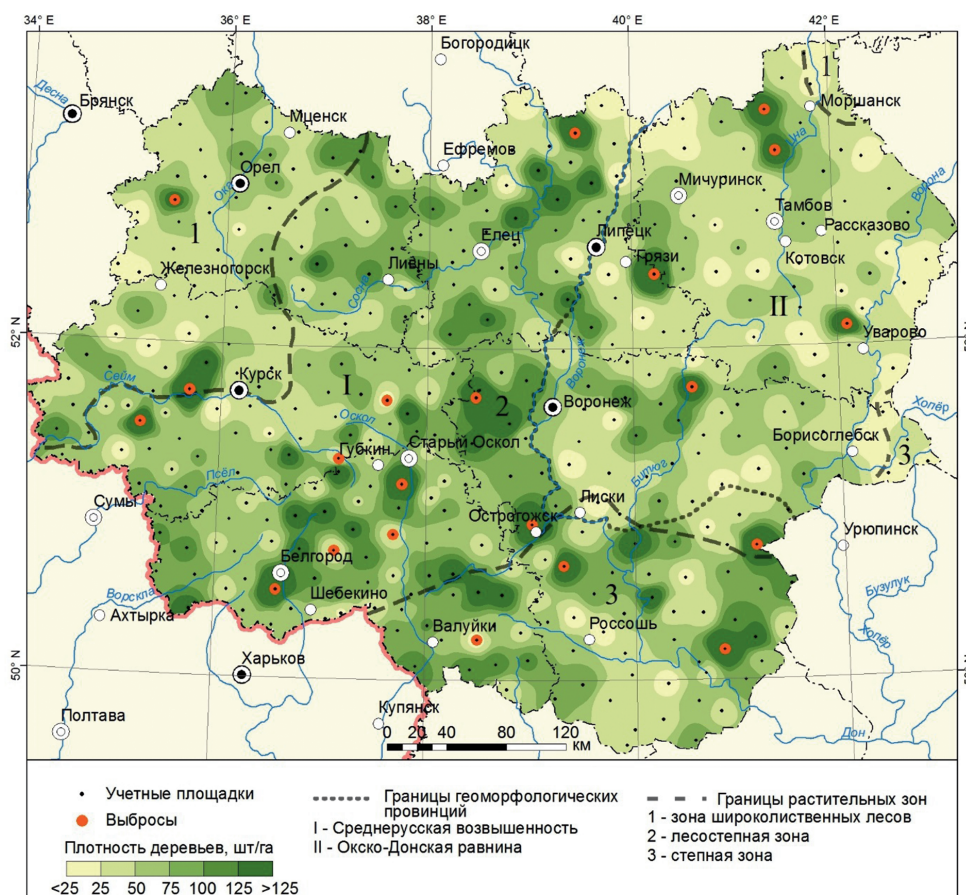


Рис. 1. Плотность размещения деревьев в редколесьях на территории овражно-балочной части Центрального Черноземья и Орловской области

ских вычислений R [11]. Предварительная обработка данных заключалась в поиске и удалении выбросов. Всего был обнаружен 21 выброс. Для их обнаружения использовались два метода – фильтр Хампеля и LISA (Local Indicator of Spatial Association) [8]. Фильтр Хампеля позволяет обнаруживать наблюдения, которые являются выбросами на фоне общего распределения данных. LISA на основе расчета локальной пространственной автокорреляции позволяет выделять наблюдения, которые являются выбросами относительно соседей по географическому пространству. Анализ по методу LISA в этой работе – это единственный вид статистического анализа, который был выполнен не в среде R, а в ArcGIS.

Для данных, очищенных от выбросов, были рассчитаны параметры описательной статистики. Затем, чтобы оценить влияние провинциального и зонального фактора на плотность деревьев, был выполнен дисперсионный анализ. Для выбора метода дисперсионного анализа предварительно было проверено соответствие распределения данных нормальному распределению. Сделано это с помощью теста Шапиро – Уилка. По результатам теста было обнаружено, что во всех группах (зонах и провинциях) распределение отличается от нормального. Поэтому для дисперсионного анализа понадобилось использование непараметрических методов.

В качестве непараметрического метода дисперсионного анализа был выбран метод NP MANOVA, основанный на использовании матрицы дистанций и перестановочного теста [12]. Этот метод реализован в дополнительном пакете *Vegan* в виде функции *adonis* [13]. В отличие от теста Краскола – Уоллиса, который чаще всего используется в качестве непараметрического метода дисперсионного анализа, NP MANOVA позволяет применять многофакторный дизайн анализа.

При анализе методом NP MANOVA в настройках процедуры было установлено использование 999 перестановок и применение евклидова расстояния при расчете дистанций.

Описательная статистика для плотности деревьев в лугово-степных редколесьях Центрального Черноземья и Орловской области приведена в таблице 1. Видно, что размах значений приблизительно совпадает и для геоморфологических провинций, и для растительных зон. При этом в среднем на Среднерусской возвышенности плотность деревьев в редколесьях выше, чем на Окско-Донской равнине. А при смене растительных зон средняя плотность размещения деревьев в редколесьях увеличивается в южном направлении. Наименьшая она в самой северной растительной зоне (зоне широколиственных лесов), а наибольшая в самой южной растительной зоне (зоне степи). Лесостепь занимает промежуточное положение по этому показателю.

Результаты непараметрического дисперсионного анализа приведены в таблице 2. Они показывают, что для плотности деревьев в лугово-степных редколесьях Центрального Черноземья и Орловской области оба рассматриваемых фактора являются статистически значимыми. И для принадлежности к геоморфологической провинции и для принадлежности к растительной зоне величина *p*-значения меньше 0,05. А вот взаимодействие между этими двумя факторами статистически значимым не является (*p* = 0,32).

В совокупности два фактора (принадлежность к геоморфологической провинции и принадлежность к растительной зоне) объясняют 13 % дисперсии значений плотности деревьев в редколесьях. При этом провинциальный фактор имеет большее значение, чем зональный. На долю принадлежности к геоморфологической

Таблица 1. Описательная статистика для плотности деревьев в редколесьях, шт/га

Природный регион	Количество	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Мин.	Макс.
Геоморфологические провинции						
Среднерусская возвышенность	275	66,53	58,00	35,76	8	158
Окско-Донская равнина	104	41,61	33,50	26,47	8	123
Растительные зоны						
Широколиственные леса	60	51,80	39,00	30,79	11	155
Лесостепь	258	59,93	52,50	35,07	8	154
Степь	61	66,43	59,00	38,92	9	158

провинции приходится 10 % дисперсии, а на долю принадлежности к природной зоне – 3 % дисперсии значений плотности деревьев в редколесьях (табл. 2).

Большая часть дисперсии значений плотности деревьев в редколесьях (87 %) не объясняется влиянием провинциального и зонального фактора. Она связана с различными локально действующими факторами. Часть этих факторов имеют природное происхождение, к ним относятся рельеф, почвы, геологические породы, близость грунтовых вод.

Другая часть локально действующих факторов связана с хозяйственной деятельностью человека. Это способы хозяйственного использования овражно-балочной земли (выпас, сенокосение, посадка лесных культур) и их интенсивность. Кроме

того, играет роль время, в течение которого происходило расселение древесной растительности.

Преобладающее влияние локальных факторов обуславливает высокую пестроту картины, наблюдаемой при отображении на карте исходных данных, характеризующих плотность деревьев в редколесьях. Различия между соседними учетными площадками нередко оказываются больше, чем различия между усредненными данными по растительным зонам и геоморфологическим провинциям. Поэтому для обнаружения географических закономерностей в изменении плотности деревьев в лугово-степных редколесьях Центрального Черноземья необходимо прибегать к усреднению данных, сгруппированных по зонам и провинциям.

Таблица 2. Результаты анализа методом NP MANOVA

	Df	Сумма квадратов	Средний квадрат	псевдо-F	R ²	p-значение
Провинциальный фактор	1	46 868	46 868	43,02	0,10	0,001
Зональный фактор	2	13 659	6829	6,27	0,03	0,004
Взаимодействие факторов	2	2567	1283	1,18	0,006	0,32
Остатки	373	406 392	1090	–	0,87	–
Всего	378	469 485	–	–	1,00	–

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00291.

Список литературы

1. Михно В.В. Ландшафтные особенности инсультности дубрав Среднерусской лесостепи // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2012. Т. 1. С. 14–20.
2. Терехин Э.А., Чендев Ю.Г. Анализ пространственно-временных изменений лесистости на юге лесостепи Среднерусской возвышенности по спутниковым данным // Лесоведение. 2019. Т. 4. С. 257–265.
3. Мильков Ф.Н. О естественных ландшафтах юга Русской равнины. // Известия РАН. Серия географическая. 1995. Т. 5. С. 5–18.
4. Ганнибал Б.К., Недвига В.В. Фитоценотические параметры степных редколесий (на примере Ямской степи) // Актуальные проблемы геоботаники: III Всерос. школа-конф. I часть. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 133–137.
5. Бережной А.В., Бережная Т.В. Лесостепь, разнообразие её типов и перспективы охраны // Флора и растительность Центрального Черноземья: мат-лы Межрег. науч. конф. Курск, 2013. С. 96–100.
6. Украинский П.А., Терехин Э.А. География плотности размещения деревьев в редколесьях, формирующихся на территории овражно-балочной сети Белгородской области // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2020. Вып. 2. Т. 5. С. 50–55.
7. Ukrainskiy P., Terekhin E., Gusarov A., Zelenskaya E., Lisetskii F. The Influence of Relief on the Density of Light-Forest Trees within the Small-Dry-Valley Network of Uplands in the Forest-Steppe Zone of Eastern Europe // Geosciences. 2020. Vol. 10. No. 11. P. 420.
8. Украинский П.А. Поиск выбросов в пространственных данных (на примере плотности деревьев в редколесьях Центрального Черноземья) // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2022. Vol. 2. No. 7. P. 82–86.
9. Маккавеев А.Н. Геоморфологическое районирование России и окружающих морей. Масштаб 1 : 15000000 // Национальный атлас России. Т. 2. М.: ПКО «Картография», 2007. С. 140–144.
10. Огуреева Г.Н., Сафронова И.Н., Юрковская Т.К., Микляева И.М., Котова Т.В. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. Карта, масштаб 1 : 8000000. М.: ТОО «ЭКОР», 1999.
11. Team R.C. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2020. URL: <https://www.R-project.org/>
12. Anderson M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance // Austral Ecology. 2001. Vol. 26. No. 1. P. 32–46.
13. Dixon P. VEGAN, a package of R functions for community ecology // Journal of vegetation science. 2003. Vol. 14. No. 6. P. 927–930.

ZONAL AND PROVINCE DIFFERENCES IN TREE DENSITY IN THE LIGHT FORESTS OF THE RAVAGE-GULLY NETWORK OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

P.A. Ukrainskiy

Belgorod National Research University
pa.ukrainski@gmail.com

Abstract. The article describes the geographical patterns in the change in the density of trees in the woodlands of the ravine-gully network in the Central Chernozem region and the Oryol region. The input data for the analysis were the results of mapping individual trees using mosaics of satellite images of ultra-high spatial resolution. This is open public data from mapping web services hosted on the Internet. Access to them was provided using the QGIS software and QuickMapService plugin. We carried out mapping on 400 registration sites of 1 ha each. After the removal of outliers, the initial data were grouped. Groups are two geomorphological provinces (Central Russian Upland and Oka-Don Plain) and three vegetation zones (broad-leaved forests, forest-steppe and steppe). Comparison of geomorphological provinces showed that on the Central Russian Upland, the density of trees in light forests is on average higher than on the Oka-Don Plain. When vegetation zones change, the mean density of trees in light forests consistently increases in the direction from broad-leaved forests to the steppe. We analyzed zonal and provincial differences using non-parametric analysis of variance based on a permutation test (NP MANOVA). NP MANOVA showed that both factors (provincial and zonal) are statistically significant. The interaction between these factors is not statistically significant. The provincial factor explains 10 % of the variance in tree density in light forests. The zonal factor explains 3 % of the variance. The remaining 87 % of the dispersion is associated with the influence of various locally acting factors.

Keywords: density of trees, light forests, Central Chernozem region, vegetation zones, geomorphological provinces.

References

1. *Mikhno V.B.* Landscape features of insularity of oak forests in the Central Russian forest-steppe. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya.* [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. geoeology]. 2012. Vol. 1. P. 14–20. (In Russian).
2. *Terekhin E.A., Chendev Yu.G.* Analysis of spatio-temporal changes in forest coverage in the south of the forest-steppe of the Central Russian upland based on satellite data. *Lesovedenie.* [Forest science]. 2019. Vol. 4. P. 257–265.
3. *Mil'kov F.N.* On the natural landscapes of the south of the Russian plain. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya.* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic series]. 1995. Vol. 5. P. 5–18. (In Russian).
4. *Gannibal B.K., Nedviga V.V.* Phytocenotic parameters of steppe woodlands (on the example of the Yamskaya steppe). *Aktual'nye problemy geobotaniki. III Vserossiyskaya shkola-konferentsiya.* [Actual problems of geobotany. III All-Russian school-conference.]. Part I. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2007. P. 133–137. (In Russian).
5. *Berezhnoy A.V., Berezhnaya T.V.* Forest-steppe, diversity of its types and prospects for protection. *Materialy mezhregional'noy nauchnoy konferentsii «Flora i rastitel'nost' Tsentral'nogo Chernozem'ya».* [Materials of the interregional scientific conference “Flora and vegetation of the Central Chernozem region”]. Kursk, 2013. P. 96–100. (In Russian).
6. *Ukrainskiy P.A., Terekhin E.A.* Geography of the trees density in open woodlands that are formed on the territory of the erosional network in the Belgorod region. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring* [Ecology. Economy. Informatics. Series: Geoinformation technologies and space monitoring]. 2020. Vol. 2. No. 5. P. 50–55. (In Russian).
7. *Ukrainskiy P., Terekhin E., Gusarov A., Zelenskaya E., Lisetskii F.* The Influence of Relief on the Density of Light-Forest Trees within the Small-Dry-Valley Network of Uplands in the Forest-Steppe Zone of Eastern Europe. *Geosciences.* 2020. Vol. 10. No. 11. P. 420.
8. *Ukrainskiy P.A.* Detection of outliers in spatial data (on the example of tree density in the open woodlands of the Central Chernozem region). *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring* [Ecology. Economy. Informatics. Series: Geoinformation technologies and space monitoring]. 2022. Vol. 2. No. 7. P. 82–86. (In Russian).
9. *Makkaveev A.N.* Geomorphological zoning of Russia and surrounding seas. Map, 1 : 15000000. *Natsional'nyy atlas Rossii.* [National atlas of Russia]. Vol. 2. Moscow: Cartography, 2007. P. 140–144. (In Russian).
10. *Ogureeva G.N., Safronova I.N., Yurkovskaya T.K., Miklyaeva I.M., Kotova T.V.* Zony i tipy poyasnosti rastitel'nosti Rossii i sopredel'nykh territoriy. [Zones and types of zonality of vegetation in Russia and adjacent territories]. Map, 1:8000000. Moscow: «EKOR», 1999. (In Russian).
11. *Team R.C. R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2020. URL: <https://www.R-project.org/>
12. *Anderson M.J.* A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology.* 2001. Vol. 26. No. 1. P. 32–46.
13. *Dixon P.* VEGAN, a package of R functions for community ecology. *Journal of vegetation science.* 2003. Vol. 14. No. 6. P. 927–930.