

УДК 911.574.9 + 581.9

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ БОГАТСТВА ФЛОР ГОРОДОВ РОССИИ

© 2017 г. Д. В. Веселкин^{1,2}, А. С. Третьякова^{2,*}, С. А. Сенатор³, С. В. Саксонов³,
В. А. Мухин^{1,2}, член-корреспондент РАН Г. С. Розенберг³

Поступило 28.12.2016 г.

В результате анализа данных о видовом богатстве флор 89 городов (урбанофлор) Российской Федерации установлены факторы общего видового богатства урбанофлор в целом, их аборигенного и адвентивного компонентов. Установлено, что богатство аборигенных и адвентивных видов урбанофлор определяется разными факторами. Основной фактор общего числа и числа аборигенных видов в урбанофлорах — площадь города или численность населения. Богатство и доля адвентивных видов в урбанофлорах увеличиваются с ростом степени урбанизации и антропогенной трансформированности регионов и с увеличением времени существования городов, но уменьшаются с ростом суровости климата.

DOI: 10.7868/S0869565217270226

Богатство природных флор зависит от их площади, географического положения, климата и уровня ландшафтного разнообразия [1–3]. В связи с глобальной тенденцией урбанизации все более актуальными становятся исследования закономерностей формирования городских флор, включающих виды растений с разной историей проникновения — аборигенные и адвентивные [4–9]. На примере городов Европы и Северной Америки показано, что факторы, определяющие разнообразие аборигенных и адвентивных видов, различны [4, 5]. Поскольку обоснованность безоговорочной экстраполяции этих закономерностей на иные регионы не очевидна, необходима их верификация на материалах, полученных в Российской Федерации, другими словами, в иных, чем в Европе и Америке, географических, климатических и исторических условиях.

В работе предпринята попытка оценить роль географических факторов в формировании видового богатства флор городов Российской Федерации. Впервые проанализированы оценки богатства флор 89 городов РФ на основе 11 параметров, характеризующих размер города, выраженность антропогенного влияния и климатические условия. От предшествующих обобщений относительно урбанофлор России [6, 7] работа отличается включением в анализ такого фактора, как уровень антропогенной

трансформации территорий, большим объемом используемых данных и, следовательно, общностью заключений.

Массив данных. Использованы оценки богатства флор высших сосудистых растений (урбанофлор) 89 городов России. Характеристики 79 урбанофлор получены из 41 литературного источника, опубликованного в 1993–2015 гг.; 10 урбанофлор оригинальные. Рассмотрены урбанофлоры городов, расположенных от 43°29' до 64°35' с.ш. и от 28°20' до 107°37' в.д. Численность населения 52 городов — до 100 тыс., 29 — от 100 тыс. до 1 млн, 8, в том числе г. Москва, — свыше 1 млн. Возраст городов был от 25 до 1160 лет. Признаки видового богатства урбанофлор — общее число зарегистрированных в городе видов растений N_{species} , число аборигенных N_{native} и адвентивных N_{alien} видов. Кроме того, проанализирована доля адвентивных видов от их общего числа P_{alien} .

В качестве факторов, определяющих разнообразие урбанофлор, выбрано 11 параметров: 1) численность населения в городе; 2) площадь города; 3) плотность населения в городе; 4) плотность населения в регионе; 5) степень развития дорожной сети в регионе; 6) доля площади трансформированных экосистем (сельскохозяйственные земли, застройка, водохранилища) в регионе; 7) доля площади застройки (поселения, дороги, предприятия) в регионе; 8) доля городского населения в регионе; 9) доля населения в крупных городах в регионе; 10) возраст (давность возникновения) города; 11) индекс континентальности Л. Горчинского. Параметры 1–3 и 10 определяли по интернет-источникам; параметры

¹ Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург

² Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

³ Институт экологии Волжского бассейна Российской Академии наук, Тольятти

*E-mail: alyona.tretyakova@urfu.ru

Таблица 1. Структура корреляций между выбранными параметрами¹

Параметры	Факторные нагрузки главных компонент			
	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>U</i>	<i>C</i>
1. Численность населения в городе ²	+0,976	+0,084	+0,048	−0,013
2. Площадь города ³	+0,942	+0,010	+0,018	−0,165
3. Плотность населения в городе	+0,792	+0,090	+0,110	+0,229
4. Плотность населения в регионе ²	+0,113	+0,943	+0,236	+0,017
5. Степень развития дорожной сети в регионе ²	−0,014	+0,963	+0,109	+0,149
6. Доля площади трансформированных экосистем в регионе ²	+0,048	+0,914	+0,007	−0,266
7. Доля площади региона под объектами застройки ²	+0,065	+0,922	−0,083	+0,204
8. Доля населения региона в городах ²	−0,003	−0,018	+0,898	+0,242
9. Доля населения региона в крупных городах ²	+0,120	+0,208	+0,921	−0,015
10. Возраст города	+0,154	+0,163	+0,274	+0,641
11. Континентальность климата	+0,111	−0,030	−0,106	−0,902
<i>Доля объясняемой дисперсии</i>	<i>0,231</i>	<i>0,326</i>	<i>0,166</i>	<i>0,136</i>

Примечание. ¹ Использовано varimax-вращение; ^{2,3} Параметр преобразован ²логарифмированием или ³извлечением квадратного корня.

4–9 по данным Web-Атласа “Окружающая среда и здоровье населения России” (<http://www.sci.aha.ru/ATL/ga00.htm>); параметр 11 рассчитывали.

Факторы богатства урбанофлор. Оценка структуры корреляций между характеристиками городов и окружающих территорий с помощью анализа главных компонент показала, что выделяются четыре ортогональные легко интерпретируемые главные компоненты (табл. 1; статистический анализ выполнен в пакете STATISTICA 7.0). Совокупно они описывают более 80% дисперсии предикторов. В первую компоненту входят характеристики размера и численности населения города (параметры 1–2). Её можно обозначить как размер города *S*. Во вторую компоненту сгруппированы характеристики антропогенной освоенности или нарушенности окружающего город региона (параметры 3–7); её можно обозначить как степень антропогенной трансформации территории *T*. Третья компонента образована долями городского населения (параметры 8, 9); это степень урбанизации *U*. Четвёртая компонента сформирована одним параметром – континентальностью климата *C*, с которым отрицательно коррелирует возраст города.

Анализ выполнен с использованием множественной линейной регрессии. При этом объясняемые признаки N_{species} , N_{native} и N_{alien} логарифмировали, а P_{alien} – подвергали арксинус-трансформации.

В качестве предикторов использовали оценки четырёх выделенных главных компонент (*S*, *T*, *U* и *C*). Уравнения приведены в стандартизованном виде. Это позволяет по абсолютным значениям регрессионных коэффициентов судить о вкладе предикторов в детерминацию видового богатства урбанофлор (верхними индексами показана статистическая значимость коэффициентов):

$$N_{\text{species}} = 0,76S^{P < 0,001} + 0,11T + 0,03U + 0,04C \quad (R^2 = 0,58), \quad (1)$$

$$N_{\text{native}} = 0,69S^{P < 0,001} + 0,05T - 0,11U - 0,06C \quad (R^2 = 0,49), \quad (2)$$

$$N_{\text{alien}} = 0,57S^{P < 0,001} + 0,20T^{P = 0,009} + 0,39U^{P < 0,001} + 0,26C^{P < 0,001} \quad (R^2 = 0,57), \quad (3)$$

$$P_{\text{alien}} = 0,17S^{P = 0,042} + 0,18T^{P = 0,036} + 0,51U^{P < 0,001} + 0,36C^{P < 0,001} \quad (R^2 = 0,43). \quad (4)$$

Рассмотренные факторы обладают хорошей прогностической способностью в отношении характеристик видового богатства урбанофлор и объясняют 43–58% их общей изменчивости.

Из уравнений (1)–(3) следует, что ведущий фактор видового богатства урбанофлор (признаки N_{species} ,

N_{native} и N_{alien}) – размер города (компонента S). При этом для N_{species} и N_{native} это единственный значимый фактор. Такой вывод хорошо соответствует общим флористическим закономерностям [1, 10], показанным в том числе и для урбанофлор [4–7, 11].

Антропогенные факторы (компоненты T и U) практически не влияют на общее число видов урбанофлоры и число аборигенных видов. Однако их вклад значим для богатства адвентивных растений (N_{alien} и P_{alien}). При этом и число, и доля адвентивных видов ожидаемо увеличиваются с ростом антропогенной трансформированности экосистем региона и ростом степени урбанизации.

Климатические факторы (компонента C) и возраст городов несущественны для определения богатства аборигенных видов, но значимы как детерминанты богатства адвентивного компонента урбанофлор. Число и доля адвентивных видов уменьшаются с ростом континентальности климата и увеличиваются с возрастом города. Как уже отмечено, континентальность климата и возраст города коррелируют отрицательно (коэффициент корреляции Спирмена между ними $r = -0,37$; $P < 0,001$). Вероятная причина этого в том, что в резко континентальном климате Сибири города в среднем моложе, чем на северо-западе России в условиях умеренно континентального климата. Другими словами, обеднение урбанофлор адвентивными видами при смещении на восток может быть связано как с меньшим возрастом городов, так и с суровыми климатическими условиями.

Реализованный подход позволяет количественно охарактеризовать вклад разных факторов, в том числе антропогенных, в формирование разных признаков урбанофлор. Для признака N_{native} с размером города связано 47% из 49% объяснённой дисперсии. Следовательно, его вклад в определение числа аборигенных видов абсолютно преобладает; он в 25–30 раз выше вклада антропогенных (T и U) факторов. Для признака N_{alien} с размером города связано 32%, а с антропогенными факторами 18% из 57% объяснённой дисперсии. Следовательно, вклад масштабного фактора в определение числа адвентивных видов лишь в 1,5–2 раза выше вклада антропогенных факторов. Около 7% из общих 57% объяснённой дисперсии признака N_{alien} и около 13% из общих 43% объяснённой дисперсии признака P_{alien} связано с фактором континентальности климата (C).

Заключение. Как и в обобщениях относительно урбанофлор Европы [4] и Северной Америки [5], установлено, что видовое богатство аборигенных и адвентивных растений определяется разными факторами. В урбанофлорах России, как и в других регионах, главный, практически единственный фактор общего числа видов и числа аборигенных видов – масштабный, т.е. площадь города

и численность населения. Сложнее определяются богатство и доля адвентивных видов. Эти характеристики урбанофлор существенно зависят и от размера города, и от климата, и от антропогенных факторов. Богатство и доля адвентивных видов увеличиваются с ростом степени урбанизации и антропогенной трансформированности региона в целом, а также с увеличением времени существования города, но уменьшаются с ростом суровости климата.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты 16–54–00105, 15–44–02160 р_поволжье, 16–3450023 мол_нр) и Программы повышения конкурентоспособности УрФУ (постановление Правительства РФ № 211, контракт № 02.А03.21.0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мальшев Л.И.* Экология флористического богатства Северной Евразии // Ботан. журн. 2003. Т. 88. № 8. С. 28–36.
2. *Морозова О.В.* Таксономическое богатство Восточной Европы, факторы пространственной дифференциации. М.: Наука, 2008. 328 с.
3. *Чернов Ю.И.* Экология и биогеография. Избранные работы. М.: Творч. науч. изд. КМК, 2008. 580 с.
4. *Pyšek P.* Alien and Native Species in Central European Urban Floras: a Quantitative Comparison // J. Biogeogr. 1998. V. 25. P. 155–163.
5. *Clemants S., Moore G.* Patterns of Species Richness in Eight Northeastern United States Cities // Urban Habitats. 2003. V. 1. № 1. P. 4–16. <http://www.urbanhabitats.org>
6. *Тохтарь В.К., Фомина О.В.* Особенности формирования урбанофлор в различных природно-климатических и антропогенных условиях: факторный анализ и визуализация данных // Науч. ведомости Белгород. гос. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2011. № 9. В. 15. С. 23–28.
7. *Сенатор С.А., Костина Н.В., Саксонов С.В.* Зависимость видового разнообразия урбанофлор от ряда факторов // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2013. В. 2. С. 23–29.
8. *Григорьевская А.Я.* Флора города Воронежа. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2000. 200 с.
9. *Григорьевская А.Я., Лепешкина Л.А., Зеленукин Д.С.* Флора Воронежского городского округа города Воронежа: биогеографический, ландшафтно-экологический, исторический аспекты // Самар. Лука: проблемы регион. и глоб. экологии. 2012. Т. 21. № 1. С. 5–158.
10. *Толмачев А.И.* Богатство флор как объект сравнительного изучения // Вестн. ЛГУ. Сер. биол. 1970. В. 2. № 9. С. 71–83.
11. *Третьякова А.С.* Особенности таксономической структуры флоры урбанизированных территорий Среднего Урала (Свердловская обл.) // Самар. науч. вестн. 2016. № 1. С. 66–71.