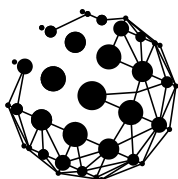


Институт экологии растений и животных УрО РАН

**ЭКОЛОГИЯ:
ФАКТЫ, ГИПОТЕЗЫ, МОДЕЛИ**

Материалы конференции молодых ученых,
12–15 апреля 2021 г.



Екатеринбург

2021

УДК 574 (061.3)

Э 40

ИЭРиЖ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ
РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ



**Совет молодых
учёных ИЭРиЖ**

Экология: факты, гипотезы, модели. Материалы конф. молодых
Э 40 ученых, 12–15 апреля 2021 г. / ИЭРиЖ УрО РАН — Екатеринбург:
ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», 2021. — 206 с.

В сборнике опубликованы материалы юбилейной Всероссийской конференции молодых ученых «Экология: факты, гипотезы, модели», посвященной 60-летию Молодежной конференции ИЭРиЖ УрО РАН и Году науки и технологий в России, прошедшей в г. Екатеринбурге в апреле 2021 г. Впервые работы участников конференции молодых ученых были представлены очно и дистанционно в форме устных докладов и oral-poster. В очередной раз состоялся традиционный конкурс докладов, членами комиссии было отмечено высокое качество докладов юбилейной конференции. Исследования молодых ученых посвящены проблемам изучения биологического разнообразия на популяционном, видовом и экосистемном уровнях, анализу экологических закономерностей эволюции, поиску механизмов адаптации биологических систем к экстремальным условиям, а также популяционным аспектам экофизиологии, радиобиологии и радиоэкологии, часть докладов носили прикладной характер.

В оформлении обложки использованы фотографии победителя фотоконкурса конференции Майоровой Е.Ю.

ISBN 978-5-907502-26-0



9

785907 502260

© Авторы, 2021

© ИЭРиЖ УрО РАН, 2021

© ООО Универсальная Типография
«Альфа Принт», 2021

Трансформация светового режима в зарослях инвазивного *Acer negundo* L.

Д.И. Дубровин

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург
Уральский федеральный университет им. первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ключевые слова: биологические инвазии, инвазивные растения, клен ясенелистный, конкуренция за свет, факторы инвазивности

Биологические инвазии – глобальная экологическая проблема (Gioria, Osborne, 2014). Большое внимание уделяется исследованиям последствий расселения инвазивных видов на новых территориях, таких как снижение разнообразия сообществ-реципиентов (Richardson et al., 2000; Vila et al., 2011). Помимо снижения разнообразия, некоторые инвазивные виды способны нарушать связи в экосистемах, заметно изменяя условия существования других видов. Такие виды называют видами-трансформерами. Их важная особенность – повышенная конкурентоспособность за ресурсы (Gioria, Osborne, 2014). Виды-трансформеры способны изменять условия освещения (Niinemets, 2010; Schuster, Reich, 2018), круговорот элементов минерального питания (Gioria, Osborne, 2014) и другие характеристики сообществ и экосистем. Важный вопрос об инвазивных видах – вопрос об особенностях, которые позволяют им влиять на сообщества-реципиенты.

Свет – ключевой ресурс, определяющий организацию растительных сообществ. Для некоторых инвазивных растений характерна повышенная конкурентоспособность за свет, выраженная в формировании густого полога листьев (Reinhart et al., 2006; Nilsson et al., 2008; Cusack, McCleery, 2014; Berg et al., 2017). Хотя неоднократно подтверждено, что трансформация светового режима – реальный механизм инвазивности растений (Reinhart et al., 2006; Nilsson et al., 2008; Bravo-Monasterio et al., 2016), действие этого механизма проявляется не всегда (Lanta et al., 2013; Dyderski, Jagodzinski, 2019). Поэтому способность влиять на сообщества-реципиенты путем эффективного перехвата света требует отдельной проверки для каждого чужеродного вида.

Инвазивный для Евразии североамериканский клен ясенелистный *Acer negundo* L. считается видом-трансформером. Он активно

расселяется в урбанизированных и полустественных местообитаниях, нередко формируя моновидовые заросли (Виноградова и др., 2010). В сообществах с доминированием *A. negundo* показано меньшее α - и γ -разнообразие травянистых растений, чем в сообществах с доминированием других видов деревьев (Дубровин, 2018; Веселкин, Дубровин, 2019).

Результаты оценок перехвата света кронами *A. negundo* неоднозначны. В части работ установлено, что он формирует более сильное затенение (Saccone et al., 2010), в других исследованиях отличия в затенении напочвенного покрова кленом ясенелистным и другими деревьями не выявлено (Berg et al., 2017).

В настоящей работе мы оценили уровень затенения в урбанизированных сообществах с доминированием *A. negundo* на Среднем Урале. Мы использовали два подхода к оценке затенения: оценку сомкнутости крон по фотографиям и оценку доли перехваченного кронами света (затенения) с помощью прямых измерений люксметром. **Цель** работы: оценить уровень затенения в урбанизированных сообществах с доминированием *A. negundo*. Проверяли три частных предположения: а) уровень затенения с ростом сомкнутости крон возрастает; б) в сообществах с доминированием инвазивного *A. negundo* уровень затенения выше, чем в сообществах с доминированием других видов деревьев; в) с ростом доли стволов *A. negundo* и общего числа стволов в древостое уровень затенения растет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробные площади. Исследование выполнено в 2020 г. на селитебных территориях г. Екатеринбург, г. Арамилы и пос. Кольцово. Использовали экспериментальный дизайн с парными пробными площадями (ПП) 20×20 м с доминированием *A. negundo* и без него. Сначала выполняли поиск сообществ с доминированием *A. negundo* (An+). Доминирующим видом дерева считали вид, общее число стволов которого на ПП было больше числа стволов любого другого вида дерева, а доля его стволов в сообществе составляла не менее 30%. Для каждого сообщества An+ подбирали сходное сообщество с доминированием другого вида дерева (An-). Сообщества An- подбирали таким образом, чтобы: а) они находились в схожих условиях с сообществами An+, в частности, однородны по рельефу и типу ландшафта; б) значения сомкнутости крон на парных ПП были примерно одинаковыми; в) парные ПП находились на расстоянии не более 0.5 км друг от друга. Эти особенности подбора ПП позволяли рассматривать комплекс условий среды на ПП An- в качестве комплекса условий, которые могли быть на ПП An+ в случае, если бы *A. negundo* не доминировал на ней. Всего заложено 10

парных ПП: 8 ПП на территории г. Екатеринбурга, 1 – на территории г. Арамили и 1 – на территории пос. Кольцово. На каждой ПП определено общее число стволов деревьев и число стволов *A. negundo*, диаметр которых на высоте 1.3 м превышал 4 см. В древостое сообществ An- доминировали: *Malus baccata* (L.) Borkh, *Prunus padus* L., *Pinus sylvestris* L., *Salix alba* L., *Salix fragilis* L., *Sorbus aucuparia* L., *Tilia cordata* Mill., *Ulmus laevis* Pall.

Измерение сомкнутости крон. На каждой ПП цифровым фотоаппаратом Lumix DMC-FP2 (ПЗС-датчик – 1/2.5”/10.3 млн пикселей/первичный цветовой фильтр; разрешение фото – 3648×2736 пикселей) в середине июля выполнили по 10 цветных снимков вертикально вверх (с высоты 0.8–1.2 м). Снимки выполнялись в случайных точках ПП. Всего выполнено 240 вертикальных снимков полога.

Подготовка снимков к анализу выполнена в программе Adobe Photoshop 11.0 (Adobe System Inc., 2008). Изображения конвертировались в бинарные (двухцветные) таким образом, чтобы черные пиксели соответствовали кронам, стволам деревьев и другим естественным преградам солнечному свету, а белые пиксели соответствовали открытому небу. Анализ сомкнутости крон выполнен в программе Matlab R2018b (9.5.0.944444, The MathWorks Inc., 2018) с помощью специально написанного для этих целей кода (Дубровин, Крупина, 2020). Для каждой обработанной фотографии получено отношение числа черных пикселей к общему числу пикселей, принятое нами за сомкнутость крон. Значения сомкнутости крон для каждой ПП усредняли.

Измерение уровня освещённости. Для каждой ПП люксметром ТКА-ПКМ-42 выполнено по 20 измерений освещённости на высоте 1.5 м внутри зарослей (L_1 ; в люксах, $\times 10^2$) и на близлежащей открытой местности (L_2 ; в люксах, $\times 10^2$). Участки на открытой местности находились от зарослей на расстоянии, превышающем высоту деревьев в этих зарослях, с целью исключить перехват света кронами. Все измерения освещённости выполнены во временном промежутке с 10:00 до 15:00 по местному времени. Измерения L_1 и L_2 выполнены в одинаковых погодных условиях с промежутком времени между измерениями на ПП и открытой местности не более 5 мин. 2400 измерений освещённости выполнены в два тура: с 22 по 30 июня и с 24 июля по 3 августа 2020 г. Исходные значения освещённости усредняли для каждого тура отдельно. Для оценки доли света под пологом сообществ от общего дневного использовали индекс I_L или характеристику относительного светового довольствия (Лархер, 1978), который определяли как отношение интенсивности освещения в местообитании к ближайшему по времени измерению интенсивности освещения на открытом месте. На основании этого индекса мы рассчитали долю

перехваченного света от общего дневного (индекс затенения), выраженный как I_L , вычитенный из единицы (Формула 1):

$$I_S = 1 - \frac{L_1}{L_2} \times 100\% \quad (1)$$

, где I_S – индекс затенения; L_1 – уровень освещённости на высоте 1.5 м под пологом деревьев, лк $\times 10^2$; L_2 – уровень освещения на высоте 1.5 м на открытой местности, лк $\times 10^2$.

Анализ данных. Условия освещения в описанных сообществах характеризовали, с одной стороны, косвенно, по данным, полученным на основании обработанных фотографий (обозначение – сомкнутость крон в процентах), с другой стороны, напрямую, как долю перехваченного кронами света от общего дневного уровня, рассчитанную на основании измерений люксметра (обозначение – I_S в процентах).

Для сравнения сомкнутости крон и затенения на ПП разных вариантов использовали t-тест для связанных переменных; зависимая переменная – сомкнутость крон или I_S , предиктор – вариант сообщества (An+ или An–). Связь абсолютного числа стволов в древостое и доли стволов клена в древостое с условиями освещения, а также связь разных способов оценки условий освещения между собой проверяли с применением корреляционного анализа, для выявления направления связей применяли коэффициент корреляции Пирсона, для оценки качества аппроксимаций – коэффициент детерминации (r^2).

При анализе данных все параметры, выраженные в долях (сомкнутость крон, I_S , доля стволов *A. negundo* в древостое), подвергли арксинус-преобразованию. Для построения графиков использовали преобразованные значения параметров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сомкнутость крон изменялась в пределах от 87 до 95% (в среднем 91%) в сообществах An+; от 58 до 97% (в среднем 85%) в сообществах An–. Доля перехваченного света от общего дневного I_S изменялась в зарослях клена от 89 до 99% (в среднем, 95%), в зарослях других деревьев – от 76 до 99% (в среднем 89%).

Общая связь сомкнутости крон и затенения положительная (рис. 1). Другими словами, сомкнутость крон и затенение – характеристики, описывающие одно явление – условия освещения или световой режим сообществ.

Средняя сомкнутость крон в сообществах An+ на 5% выше, чем в сообществах An–, но эти различия незначимы (рис. 2а). Среднее затенение в зарослях *A. negundo* выше на 6% и эти различия значимы (рис. 2б).

Таким образом, с одной стороны, это подтверждает, что сообщества $Ap+$ и $Ap-$ близки по значениям сомкнутости крон. С другой стороны, при близкой сомкнутости крон в зарослях *A. negundo* все же темнее, чем в зарослях других деревьев.

Сомкнутость крон с увеличением доли стволов *A. negundo* в древостое не изменялась (рис. 3а), как и уровень затенения (рис. 3б). Условия освещения не изменялись и с ростом числа стволов деревьев в сообществе (рис. 4а, б).

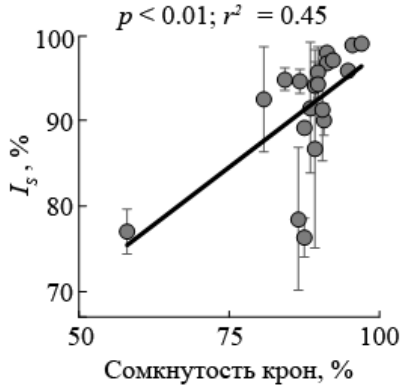


Рис. 1. Связь сомкнутости крон с долей перехваченного кронами света (среднее, минимум, максимум на ПП) в общей выборке сообществ. Показана линейная аппроксимация (черная линия), уровень значимости (p) и коэффициент детерминации (r^2).

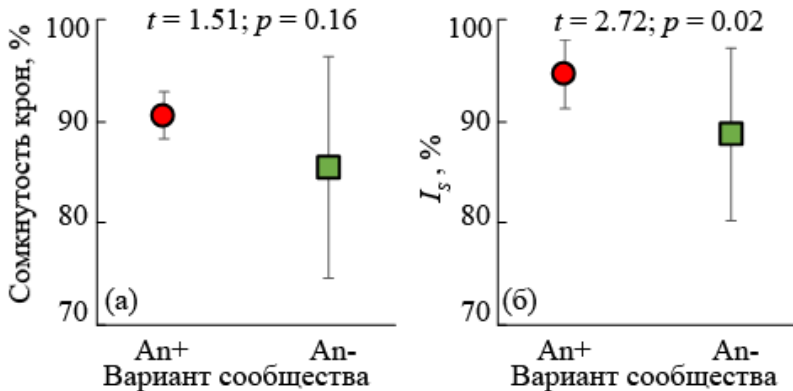


Рис. 2. Средняя (\pm стандартное отклонение) сомкнутость крон (а) и доля перехваченного света от общего дневного (б) в зарослях *A. negundo* ($Ap+$; красные круги) и в зарослях других видов деревьев ($Ap-$; зеленые квадраты). Показаны значения t -критериев для связанных переменных (t) и уровни значимости (p).

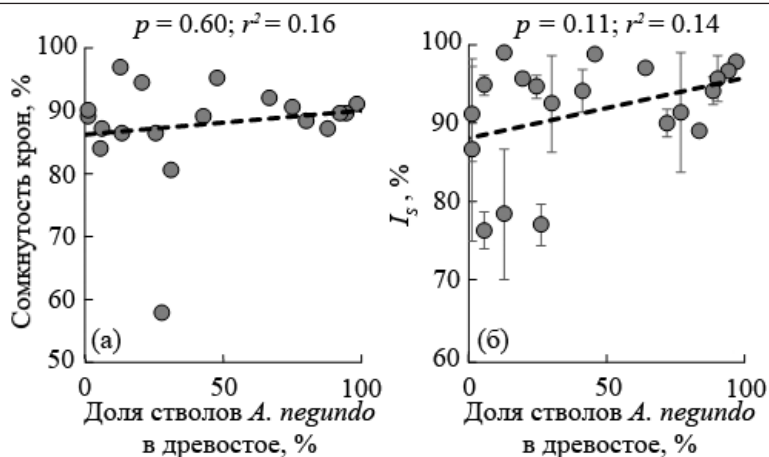


Рис. 3. Связь средней сомкнутости крон (а) и доли перехваченного кронами света от общего дневного (среднее, минимум, максимум на ПП) (б) с долей стволов *Acer negundo*. Показаны линии аппроксимации (черные линии), уровни значимости (p) и коэффициенты детерминации (r^2).

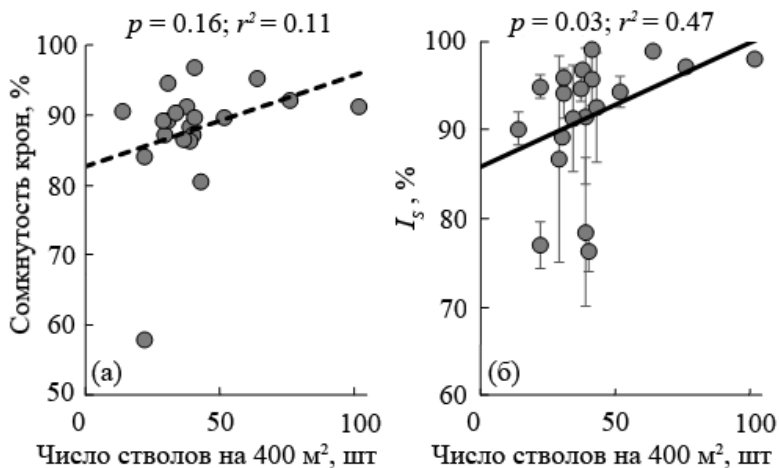


Рис. 4. Связь средней сомкнутости крон (а) и доли перехваченного света от общего дневного (среднее, минимум, максимум на ПП) (б) с числом стволов деревьев. Показаны линейные аппроксимации (черные линии), уровни значимости (p) и коэффициенты детерминации (r^2). Сплошными линиями показаны значимые связи ($p < 0.05$).

Не удалось подтвердить, что световой режим урбанизированных сообществ обусловлен уровнем преобладания *A. negundo*. Но исключить, что такая связь существует, нельзя, т. к. корреляции условий освещения с долей стволов клена однонаправленны, независимо от способа

оценки условий освещения (рис. 3а, б). С ростом числа стволов в урбанизированных сообществах сомкнутость крон увеличивалась незначительно (рис. 4а), а I_s – значительно (рис. 4б).

Результаты позволяют предположить, что в зарослях *A. negundo* условия освещения зависят не только от степени перекрытия неба кронами в вертикальной проекции, но и от дополнительных факторов: перехват бокового потока света нависающими кронами из-за формирования наклонных стволов, выносящих листья к свету в свободном от крон пространстве (Костина и др., 2013).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По представленным данным, сомкнутость крон и степень затенения – тесно связанные между собой характеристики и световой режим сообществ можно характеризовать как с помощью сомкнутости крон, оцененной по фотографиям, так и с помощью прямых измерений освещённости. Таким образом, первое предположение подтверждено.

При одинаковой сомкнутости крон в зарослях *A. negundo* темнее, чем в зарослях деревьев других видов. Можно, по-видимому, считать, что при одинаковой сомкнутости крон клен перехватывает свет более эффективно, чем другие виды деревьев. Это соответствует его статусу вида-трансформера. Таким образом, второе предположение также подтверждено. Исползованная методика подбора пробных площадей с близкими значениями сомкнутости крон позволила показать, что учёт только критерия сомкнутости крон не позволяет полностью выровнять условия сообществ по уровню освещения. Опираясь на величину сомкнутости крон в вертикальной проекции, невозможно учесть перехват бокового потока света и наложение крон деревьев разных ярусов друг на друга. Прямые измерения освещённости позволяют более объективно оценить световые условия.

При оценке сопряженности условий освещения с уровнем доминирования *A. negundo* и плотностью древостоя выявлена значимая положительная связь плотности древостоя с долей перехваченного кронами света. Остальные связи незначимы, но имеют то же направление. Это значит, что третье предположение, заключавшееся в том, что условия освещения сопряжены со степенью доминирования *A. negundo* и общей густотой зарослей вероятно, но требует дополнительной проверки. Наши данные подтверждают это предположение частично.

Для лучшего понимания значения перехвата света в сообществах, подвергшихся инвазии *A. negundo*, трансформацию светового режима необходимо оценить в более широком диапазоне сомкнутости крон с использованием прямых измерений освещённости. Помимо оценки

условий освещения в зарослях *A. negundo* важно оценить связи затенения с видовым богатством и покрытием видов травянистых растений. Выполненная ранее работа, оценивающая связь сомкнутости крон с этими параметрами, не дала однозначной оценки этой связи (Дубровин, Крупина, 2020).

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность м.н.с. О.С. Рафиковой и студентке Д.П. Крупиной за помощь в выполнении полевых измерений. Работа выполнена в рамках темы государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН № АААА-А19-119031890084-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веселкин Д.В., Дубровин Д.И. Разнообразие травяного яруса урбанизированных сообществ с доминированием инвазивного *Acer negundo* // Экология. 2019. № 5. С. 323–331. <https://doi.org/10.1134/S0367059719050111>
- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2009. 494 с.
- Дубровин Д.И. Разнообразие урбанизированных растительных сообществ с доминированием инвазивного *Acer negundo* L. // Экология: факты, гипотезы, модели: материалы конф. молодых ученых. Екатеринбург: Реэкшен, 2018. С. 30–33.
- Дубровин Д.И., Крупина Д.П. Эффект сомкнутости крон инвазивного *Acer negundo* L. на плотность видов и обилие трав в урбанизированных сообществах // Наука, природа и общество: мат-лы всерос. науч. конф., посвященной 100-летию Ильменского государственного заповедника, 100-летию со дня рождения академика П.Л. Горчаковского и 70-летию со дня рождения минералога В.О. Полякова. Миасс: 2020. С. 58–62.
- Костина М.В., Минькова Н.О., Ясинская О.И. О биологии клёна ясенелистного в зелёных насаждениях Москвы // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2013. № 4. С. 32–43.
- Лархер В. Экология растений. М.: Мир, 1978. 384 с.
- Berg C., Drescherl A., Essl F. Using relevé-based metrics to explain invasion patterns of alien trees in temperate forests // Tuexenia. 2017. № 37. P. 127–142. <https://doi.org/10.14471/2017.37.012>
- Bravo-Monasterio P., Pauchard A., Fajardo A. *Pinus contorta* invasion into treeless steppe reduces species richness and alters species traits of the local community // Biological Invasions. 2016. № 18. P. 1883–1894. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1131-4>

- Cusack D.F., McCleery T.L.* Patterns in understory woody diversity and soil nitrogen across native- and non-native-urban tropical forests // *Forest Ecology and Management*. 2014. № 318. P. 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.036>
- Dyderski M.K., Jagodzinski A.M.* Similar impacts of alien and native tree species on understory light availability in a temperate forest // *Forests*. 2019. Vol. 10. № 951. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/f10110951>
- Gioria M., Osborne B.A.* Resource competition in plant invasions: emerging patterns and research needs // *Frontiers in Plant Science*. 2014. № 5. P. 1–21.
- Lanta V., Hyvönen T., Norrdahl K.* Non-native and native shrubs have differing impacts on species diversity and composition of associated plant communities // *Plant Ecology*. 2013. Vol. 214. № 12. P. 1517–1528. <https://doi.org/10.1007/s11258-013-0272-0>
- Niinemets Ü.* A review of light interception in plant stands from leaf to canopy in different plant functional types and in species with varying shade tolerance // *Ecological Research*. 2010. № 25. P. 693–714. <https://doi.org/10.1007/s11284-010-0712-4>
- Nilsson C., Engelmark O., Cory J.* et al. Differences in litter cover and understory flora between stands of introduced lodgepole pine and native Scots pine in Sweden // *Forest Ecology and Management*. 2008. № 255. P. 1900–1905. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.012>
- Reinhart K., Gurnee J., Tirado R., Callaway R.* Invasion through quantitative effects: intense shade drives native decline and invasive success // *Ecological Applications*. 2006. № 16. P. 1821–1831. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\(1821:ITQEIS\)2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016(1821:ITQEIS)2.0.CO;2)
- Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M.* et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions // *Diversity and Distributions*. 2000. № 6. P. 93–107.
- Saccone P., Pagès J.P., Girel J.* et al. *Acer negundo* invasion along a successional gradient: early direct facilitation by native pioneers and late indirect facilitation by conspecifics // *New Phytologist*. 2010. № 187. P. 831–842. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03289.x>
- Schuster M.J., Reich P.B.* Amur maple (*Acer ginnala*): an emerging invasive plant in North America // *Biological Invasions*. 2018. № 20. P. 2997–3007. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1754-8>
- Vilà M., Espinar J.L., Hejda M.* et al. Ecological impacts of invasive alien plants: a metaanalysis of their effects on species, communities and ecosystems // *Ecology Letters*. 2011. № 14. P. 702–708.