

ЗАТЕНЕНИЕ И ПЕРЕХВАТ СВЕТА В ЗАРОСЛЯХ ИНВАЗИОННЫХ ВИДОВ *ACER NEGUNDO* И *SORBARIA SORBIFOLIA*

© 2021 Веселкин Д.В., Дубровин Д.И., Рафикова О.С., Липихина Ю.А., Золотарева Н.В., Подгаевская Е.Н.* , Пустовалова Л.А., Яковлева А.В.

Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
(ФГБУН ИЭРиЖ УрО РАН), Екатеринбург 620144, Россия
*e-mail: enp@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 30.04.2021. После доработки 09.09.2021. Принята к публикации 05.11.2021

Цель работы: установить, как сильно изменяются условия освещения под кронами (пологом листьев) двух инвазионных на Среднем Урале видов растений – *Acer negundo* и *Sorbaria sorbifolia*. В июне – августе 2020 г. с помощью портативного люксметра выполнили 8370 измерений освещённости в лесопарках (на высоте 1.5 и 0.5 м, то есть над и под пологом листьев инвазионного кустарника *S. sorbifolia* и местного кустарника *Rubus idaeus*; в случайных точках под кронами *Pinus sylvestris*; на полянах, тропах и вблизи границ леса) и в городских местообитаниях (на высоте 1.5 и 0.5 м в густых зарослях инвазионного дерева *A. negundo* и других видов деревьев). Средняя интенсивность освещения составила: под *S. sorbifolia* – 4 ± 1 лк $\times 10^2$; под *R. idaeus* – 7 ± 1 лк $\times 10^2$; в насаждениях из *A. negundo* – 13 ± 2 лк $\times 10^2$; в урбанизированных насаждениях из других видов деревьев – 25 ± 4 лк $\times 10^2$; под пологом городских сосновых лесов – 80 ± 10 лк $\times 10^2$; в краевых и опушечных зонах лесов – 96 ± 14 лк $\times 10^2$. Густые куртины *A. negundo* перехватывают около 94% света от уровня, падающего на их кроны, *S. sorbifolia* – около 93%. Это значимо больше, чем уровень перехвата света в местообитаниях, принятых в качестве контрольных: кроны других видов деревьев сильно урбанизированных местообитаний перехватывают около 89%, заросли *R. idaeus* – около 82%. Таким образом, инвазионные растения значимо сильнее, чем аборигенные, уменьшают количество света, доступного для других видов в сообществах.

Ключевые слова: инвазионные растения, световой режим, интенсивность освещения, затенение, урбанизированные местообитания.

DOI:10.35885/1996-1499-2021-14-4-30-42

Введение

Чужеродные инвазионные растения в некоторых случаях способны проявлять свойства сильных эдификаторов [Richardson et al., 2000]. Средообразующие воздействия со стороны таких чужеродных видов, изменяющих условия или объём ресурсов, доступных для местных или аборигенных видов, учитываются как ведущее объяснение в нескольких гипотезах их успеха: Global Competition Hypothesis – GCH; Sampling Hypothesis – SPH; Ideal Weed Hypothesis – IWH [Catford et al., 2009]. Воздействия инвазионных видов растений могут реализовываться путём влияния на световой режим сообществ, круговорот питательных веществ, разные компоненты биоты.

Идея, что доступность света определяет структуру растительных сообществ, тривиальна – это, по сути, центральное, не требую-

щее специальных доказательств представление экологии растений.

Но многочисленны и экспериментальные подтверждения, что условия освещения определяют продуктивность почвенного покрова [Gilliam, Roberts, 2014; Landuyt et al., 2019] и его видовой состав [Canham, 1994; Knight et al., 2008]. Есть много данных, что инвазионные растения создают более густой полог листьев, чем аборигенные [Reinhart et al., 2006; Nilsson et al., 2008; Cusack, McCleery, 2014; Berg et al., 2017]. Часто делается вывод, что затенение – это действующий механизм влияния инвазионных растений на аборигенные сообщества [Reinhart et al., 2006; Nilsson et al., 2008; Bravo-Monasterio et al., 2016]. Но иногда более высокое затенение под кронами чужеродных растений не подтверждается [Lanta et al., 2013; Dyderski, Jagodziński, 2019].

Таким образом, в отношении конкретных инвазионных видов гипотеза о влиянии на световые условия требует отдельной проверки. Так, не однозначны оценки затеняющего воздействия *Acer negundo* L. во вторичном ареале: оно может быть более сильным, чем у местных деревьев [Saccone et al., 2010; Bottollier-Curtet et al., 2012], а может не отличаться у *A. negundo* и местных деревьев [Berg et al., 2017]. Также ранее не получено свидетельств особого затеняющего воздействия инвазионного *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun по сравнению с местным кустарником *Rubus idaeus* L. [Lanta et al., 2013].

Цель работы: установить, в какой степени изменяются условия освещения под кронами (пологом листьев) двух видов инвазионных растений – *Acer negundo* и *Sorbaria sorbifolia*. Для этого сравнили освещённость под кронами *A. negundo* и *S. sorbifolia* с освещённостью в разных урбанизированных местообитаниях, микростообитаниях и сообществах; в том числе, специально подобрали сообщества, которые можно рассматривать как контроли к сообществам с доминированием изученных инвазионных видов.

Материалы и методы

Район. Екатеринбург (56°50' с. ш., 60°35' в. д.) – город в России с населением 1.5 млн человек, административный центр Свердловской области. Екатеринбург расположен в южнотаёжной подзоне бореально-лесной зоны. В растительном покрове преобладают сосновые (*Pinus sylvestris* L.) леса на дерново-подзолистых почвах и буроземах [Куликов и др., 2013]. Климат умеренно-континентальный; зима длительная и холодная с устойчивым снежным покровом; лето короткое. Среднегодовая температура +3.0 °С, средняя температура января –12.6 °С, июля +19.0 °С. Среднегодовая сумма осадков – 550–650 мм. Максимум осадков приходится на тёплый сезон (май –август), в течение которого выпадает около 60–70% годовой суммы. Высота стояния солнца в истинный полдень в июне-июле, когда проводились измерения, составляет 52–56°.

Инвазионные растения. *Acer negundo* – дерево высотой до 20 (25) м и диаметром ство-

ла 90 (100) см. Естественный ареал – Северная Америка от Скалистых гор до Атлантического побережья и от Канады до Флориды [Rosario, 1988]. Намеренно завезён в Европу в XVII в., в России известен со второй половины XVIII в. В настоящее время *A. negundo* входит в список самых опасных инвазионных видов Европы [Рыšek et al., 2009], Беларуси [Чёрная книга..., 2020] и России [Виноградова и др., 2009]. В первичном ареале растёт в пойменных, мезотрофных лиственных и хвойных лесах, в дубовых редколесьях, в прериях, на полях и болотах [Rosario, 1988]. Во вторичном ареале заселяет прибрежные фитоценозы, мезофитные дубравы, сосновые леса, колонизирует большой диапазон полуестественных местообитаний [Виноградова и др., 2009; Чёрная книга..., 2020]. В Свердловской обл. *A. negundo* активно внедряется в естественные и полуестественные сообщества в качестве доминанта и эдификатора [Третьякова, 2016], образует одновидовые заросли, препятствует возобновлению видов природной флоры и приводит к трансформации биоценозов.

Sorbaria sorbifolia – кустарник высотой 1–3 м. Естественный ареал *S. sorbifolia* – Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Камчатка, Япония, Корея, Китай, Центральная Азия [Флора Сибири..., 1988]. В культуре известен с середины XVIII в. и широко используется в озеленении [Коропачинский, Встовская, 2002]. Во вторичном ареале *S. sorbifolia* – инвазионный вид, колонофит, занесён в Чёрную книгу флоры Средней России [Виноградова и др., 2009]. Внедрение в естественные сообщества отмечено в Польше [Tomaszewski, 2001], Латвии [Jurševska, 2007], Литве [Dobravolskaitė, Gudžinskas, 2011], Финляндии [Lanta et al., 2013], Беларуси [Чёрная книга..., 2020]. Местонахождения *S. sorbifolia* в Екатеринбурге располагаются на 1 тыс. км западнее западной границы его естественного ареала [Флора Сибири..., 1988; Коропачинский, Встовская, 2002].

В Свердловской обл. *S. sorbifolia* расселяется и натурализуется в нарушенных местообитаниях [Третьякова, 2016]. В последние годы отмечено, что в лесопарках г. Екатеринбурга *S. sorbifolia* образует сплошные заросли под пологом леса и вытесняет аборигенные

виды [Veselkin et al., 2020]. В ряде регионов европейской части России *S. sorbifolia* долго сохраняется в местах культивирования, натурализуется (дичает) и образует обширные заросли [Виноградова и др., 2009].

Участки и местообитания. Измерения освещённости выполнили в разных местообитаниях и микроместообитаниях. Местообитания – непрерывные, относительно однородные участки растительности, размер которых достаточен для размещения одной или нескольких пробных площадей (ПП) 10×10 м или 20×20 м. Внутри пробных площадей в случайных точках выполняли по 20–50 измерений освещённости на фиксированной высоте над уровнем почвы. Микроместообитания – небольшие, с линейным размером от десятков сантиметров до нескольких метров, участки, располагающиеся непрерывно (небольшие поляны, тропы) или прерывисто (участки под кронами отдельных особей). При исследовании микроместообитаний ПП не использовали, производя на разных участках лесопарков по 20–50 измерений освещённости. Измерения выполнили:

1) внутри лесопарков (лесопарки: Юго-Западный; имени Лесоводов России; Уктусский; Шарташский; Калиновский) и урбанизированных лесов; согласно классификации EUNIS [EUNIS..., 2021], тип среды обитания X11 – большие парки:

а) в самых тёмных микроместообитаниях на высоте 0.5 м от поверхности почвы, которые специально подбирали в качестве положительного контроля для последующего сравнения с результатами измерений в других условиях; как правило, это были участки под кронами густых невысоких кустарников, как местных (*Salix* spp., *Ribes* spp.), так и чужеродных (*Cotoneaster* spp., *Syringa* spp.);

б) над пологом (на высотах 1.5–1.8(2) м над уровнем почвы; далее в тексте использовано унифицированное обозначение 1.5 м) и под (на высоте 0.5 м) пологом листьев *S. sorbifolia* в нескольких куртинах площадью 300–4000 м²; ПП 10×10 м.

в) над (на высоте 1.5 м) и под (на высоте 0.5 м) пологом листьев местного кустарника *Rubus idaeus* в нескольких куртинах площадью 300–1500 м² в разных лесопарках;

ПП 10×10 м; эти измерения использовали как контрольные к измерениям в зарослях *S. sorbifolia*;

г) в случайных местах со средней сомкнутостью крон *Pinus sylvestris*; на высоте 0.5 и 1.5 м; ПП 20×20 м;

д) в микроместообитаниях на небольших полянах, тропах и в местообитаниях вблизи границ леса на ПП 20×20 м (0–20 м вглубь от края насаждений);

2) в городских местообитаниях (по EUNIS: небольшие зелёные зоны, полностью или почти окружённые зданиями (X22) или дорогами (X23); большие парки (X11)) измерения на одних и тех же ПП выполнили повторно в 2 тура, в июне и в конце июля – начале августа:

а) в густых зарослях *A. negundo* площадью 500–10 000 м² на высоте 1.5 и 0.5 м; ПП 20×20 м; при выборе участков с *A. negundo* ориентировались на его абсолютное преобладание в покрытии крон – 75–100% от общего покрытия крон;

б) в густых зарослях других, как местных (*Prunus padus* L., *Pinus sylvestris*, *Salix alba* L., *Sorbus aucuparia* L., *Tilia cordata* Mill.), так и чужеродных (*Malus baccata* (L.) Borkh, *Ulmus laevis* Pall.) видов деревьев на высоте 1.5 и 0.5 м; ПП 20×20 м; эти измерения использовали как контрольные к измерениям в зарослях *A. negundo*.

Исследованные лесопарки и урбанизированные леса – это остатки условно-коренных относительно одновозрастных лесов из *Pinus sylvestris*, возникших до начала интенсивной городской застройки. Леса попали в зону активного освоения 40–60 лет назад; возраст деревьев основного поколения – 90–120 лет [Veselkin et al., 2015; Shavnin et al., 2016]. Исследованные растительные сообщества городских лесов представлены двумя группами. Менее многочисленны сосновые леса, травяно-кустарничковый ярус которых сложен типичными лесными и опушечно-лесными видами с доминированием *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Vaccinium myrtillus* L. или разнотравья. В травяном ярусе большинства урбанизированных лесов доминируют опушечно-лесные и рудерально-лесные нитрофилы: *Glechoma hederacea* L., *Urtica dioica* L., *Aegopodium podagraria* L. Для городских

лесов характерна невысокая сомкнутость древесного яруса (0.5), присутствие яруса высоких кустарников и низких деревьев (средняя сомкнутость 0.3), в котором доминирует *Sorbus aucuparia*, наличие кустарникового яруса (среднее покрытие 15%), основу которого составляют *Rubus idaeus*, *Rosa acicularis* Lindl., *Cotoneaster lucidus* Schlecht., невысокое проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса (среднее проективное покрытие 50%). Внутригородские насаждения с *A. negundo* и контрольные к ним, как правило, располагались вблизи строений и объектов инфраструктуры. Происхождение древостоев было разным – как искусственным, так и естественным.

В качестве контрольного к *S. sorbifolia* использовали местный вид *R. idaeus* из-за их филогенетической близости, схожести жизненной формы (кустарник, размножающийся корневыми отпрысками) и возможности подобрать куртины *S. sorbifolia* и *R. idaeus* в непосредственной близости друг от друга. Участки, на которых доминировал *S. sorbifolia* и

контрольные к ним с *R. idaeus*, а также участки с доминированием *A. negundo* и контрольные к ним с доминированием других видов деревьев, подбирали таким образом, что они образовывали связанную пару: были максимально однородны и расположены в непосредственной близости друг от друга, в одном элементе ландшафта, в одном и том же ценоотическом окружении с близкими уровнями урбанизации и нарушенности. Помимо этого, участки с *A. negundo* и контрольные к ним подбирали так, чтобы на них были сходные уровни сомкнутости крон.

Названия таксонов приведены согласно базе World Flora Online [World..., 2021].

Измерение освещённости. 8370 измерений освещённости (табл. 1) выполнены люксметром ТКА-ПКМ-42, который измеряет освещённость в видимой области спектра 380–760 нм. Все измерения выполнены в период с 22 июня по 3 августа 2020 г. Временной интервал измерений в течение суток – с 10:00 до 15:00 ч. Во всех случаях не более, чем с интервалом 10–20 мин до или после

Таблица 1. Места, даты и число измерений освещённости

Местообитания и микроместообитания	Сомкнутость крон древесного яруса	Даты измерений	Число участков / пробных площадей	Число туров измерений на каждом участке / пробной площади	Число измерений на каждом участке / пробной площади в каждый тур	Число измерений		
						на высоте 0.5 м от поверхности почвы	на высоте 1.5 м от поверхности почвы	на открытом месте
Лесопарки и урбанизированные леса (EUNIS: X11)								
Самые тёмные микроместообитания	40–90	24 июля – 3 августа	5	1	25	125	0	75
Заросли <i>Sorbaria sorbifolia</i>	30–80	10–23 июля	6	1	25	150	150	75
Заросли <i>Rubus idaeus</i>	30–80	10–23 июля	6	1	25	150	150	75
Участки со средней сомкнутостью крон	40–90	3 июня – 15 июля	28	1	40–50	440	1300	480
Поляны, тропы, границы леса	0–70	3 июня – 3 августа	20	1	25–50	0	705	175
Городские местообитания (EUNIS: X11, X22, X23, F9)								
Заросли <i>Acer negundo</i>	70–95	22–30 июня, 24 июля – 3 августа	12	2	20	480	480	480
Заросли других видов деревьев	65–95	22–30 июня, 24 июля – 3 августа	12	2	20	480	480	480

измерений внутри лесопарков или внутри занятых деревьями городских участков, производили контрольные измерения на открытом месте – в 15–20 м от ближайших зданий, сооружений и кромки леса. Во время каждого цикла измерений в каждом местообитании, микроместообитании или на каждой пробной площади фиксировали характер облачности, сводя её к трём градациям: «пасмурно», «переменная облачность», «ясно».

Анализ данных. Единица наблюдения – среднее значение из 20–50 исходных измерений освещённости на одной пробной площади (участке, местообитании, микроместообитании) за один тур. В качестве характеристики освещения использовали две величины. На графиках и в тексте представлены нетрансформированные значения интенсивности освещения (L , в люксах $\times 10^2$). Но в статистических сравнениях использовали трансформацию интенсивности освещения с помощью натурального логарифма $\ln(L)$. Помимо этого, использовали индекс I_L или характеристику относительного светового довольствия [по: Лархер, 1978], который определяли как отношение интенсивности освещения в местообитании к ближайшему по времени измерению интенсивности освещения на открытом месте $I_L = L_{\text{местообитание}}/L_{\text{открытое место}}$. Предполагали, что этот параметр меньше, чем L , зависит от погоды, то есть условий облачности. В статистических сравнениях использовали арксинус-трансформированные значения I_L .

Для сравнения характеристик освещения в сообществах с доминированием *S. sorbifolia* и контрольных к ним с *Rubus idaeus*, и в сообществах с доминированием *A. negundo* и контрольных к ним с другими видами деревьев в городском окружении использовали t -критерий для попарно связанных переменных. Для характеристики степени неравномерности распределения локусов разной освещённости внутри отдельных местообитаний и микроместообитаний использовали коэффициент вариации (CV). Приводимые в тексте усреднённые значения – средние арифметические с указанием через символ \pm ошибки средней арифметической (SE).

Результаты

Интенсивность освещения сильно варьировала между исследованными местообитаниями / микроместообитаниями и внутри них (табл. 2). Закономерно, что темнее всего было в микроместообитаниях, которые мы специально выбирали как наиболее затенённые, а больше всего света было на открытых местах. Общий размах (min–max) зарегистрированных значений L составил 1–946 лк $\times 10^2$, то есть три порядка величин. В пределах одного типа местообитаний или микроместообитаний размах значений L составлял от 3 до 30 раз на одной высоте над уровнем почвы и от 7 до 110 раз при учёте изменчивости между измерениями на высотах 0.5 и 1.5 м над поверхностью почвы.

Таблица 2. Интенсивность освещения (размах средних, лк $\times 10^2$) в разных местообитаниях и микроместообитаниях и на разной высоте над уровнем почвы

Местообитания и микроместообитания	Высота над поверхностью почвы	
	1.5 м	0.5 м
Открытые места	34–946	не было измерений
Лесопарки и урбанизированные леса		
Самые тёмные микроместообитания	не было измерений	1–4
Заросли <i>Sorbaria sorbifolia</i>	13–112	1–7
Заросли <i>Rubus idaeus</i>	21–57	5–9
Участки со средней сомкнутостью крон	11–342	11–354
Поляны, тропы, границы леса	10–302	не было измерений
Городские местообитания		
Заросли <i>Acer negundo</i>	4–29	3–24
Заросли других видов деревьев	5–85	3–63

Интенсивность освещения ожидаемо зависела от облачности. На открытых местах интервал значений освещённости при ясном небе составлял $L=350-946$ лк $\times 10^2$; при переменной облачности $L=184-726$ лк $\times 10^2$; при пасмурной погоде $L=34-269$ лк $\times 10^2$. Таким образом, различия интенсивности падающего света в зависимости от облачности могут достигать порядка величин и немного более. Аналогичные различия интенсивности освещения заметны и под пологом крон (рис. 1). Средняя интенсивность освещения под пологом урбанизированных сосновых лесов в ясную погоду в 2.8 раза выше, чем в пасмурную, и примерно в 1.5 раза выше, чем при переменной облачности. Однако под пологом *Sorbaria sorbifolia* (на высоте 0.5 м) и *Acer negundo* (на высоте 1.5 м) освещённость мало зависит от облачности. В первом случае размах средних 2–7 лк $\times 10^2$, во втором – 11–14 лк $\times 10^2$.

Измерения L в каждом типе местообитаний и микроместообитаний выполняли при ясном небе, при переменной и при полной облачности. Поэтому есть возможность сопоставить различия в интенсивности освещения в разных местообитаниях и микроместообитаниях с учётом состояния облачности

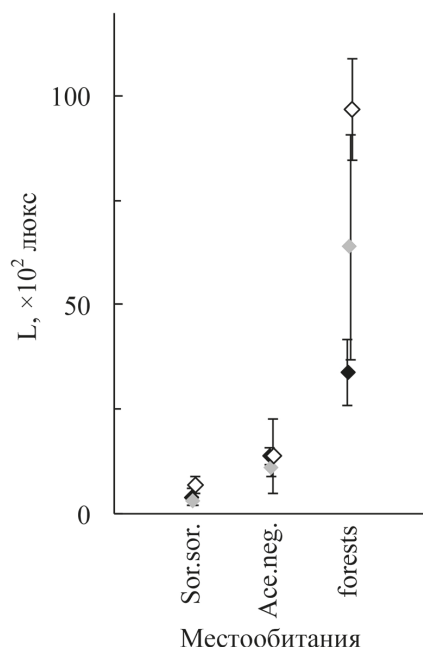


Рис. 1. Интенсивность освещения на высоте 0.5 м в зарослях *Sorbaria sorbifolia* (Sor.sor.), на высоте 1.5 в зарослях *Acer negundo* (Ace.neg.) и в случайных точках под пологом урбанизированных сосновых лесов (forests) во время ясной погоды (◇), при переменной (●) и полной (◆) облачности. Вертикальные линии – SE.

(рис. 2). Средняя интенсивность освещения на открытых местах $L=389\pm 29$ лк $\times 10^2$. По сравнению с этой величиной в специально подобранных самых затенённых микроместообитаниях света более чем на 2 порядка, почти в 200 раз меньше: $L=2\pm 1$ лк $\times 10^2$. Сильное затенение создаётся также в лесах под пологом *S. sorbifolia* ($L=4\pm 1$ лк $\times 10^2$) и *R. idaeus* ($L=7\pm 1$ лк $\times 10^2$) на высоте 0.5 м от почвы. Немного светлее в насаждениях *A. negundo* ($L=13\pm 2$ лк $\times 10^2$ на высоте 1.5 м) и других видов деревьев ($L=25\pm 4$ лк $\times 10^2$ на высоте 1.5 м). Под пологом городских сосновых лесов света заметно больше ($L=80\pm 10$ лк $\times 10^2$ на высоте 1.5 м), особенно в краевых и опушечных зонах ($L=96\pm 14$ лк $\times 10^2$ на высоте 1.5 м).

Для строгого заключения о затенении, создаваемом инвазионными растениями, выполнили попарные сравнения с адекватными контролями. На высоте 0.5 м под пологом *S. sorbifolia* и *R. idaeus* интенсивность освещения различается значимо ($t=2.91$; $P=0.0336$; $dF=5$), как и под пологом *A. negundo* (на высоте 1.5 м: $t=3.37$; $P=0.0027$; $dF=23$; на высоте 0.5 м: $t=3.05$; $P=0.0057$; $dF=23$).

Вместе с предположением, что инвазионные растения в среднем создают высокое за-

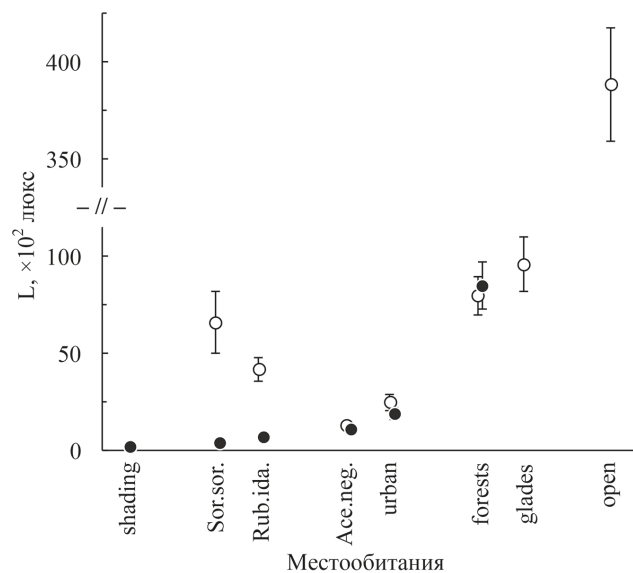


Рис. 2. Интенсивность освещения на высоте 0.5 м (●) и 1.5 м (○) в разных местообитаниях и микроместообитаниях (самые тёмные места (shading); заросли *Sorbaria sorbifolia* (Sor.sor.), *Rubus idaeus* (Rub.ida.), *Acer negundo* (Ace.neg.) и других городских деревьев (urban), случайные точки под пологом урбанизированных сосновых лесов (forest), края древостоев и поляны (glades) и открытые места (open)). Вертикальные линии – SE.

тенение, мы проверили также предположение об изменении равномерности освещения под ними. Для этого оценили, насколько велик в каждом местообитании разброс оценок L . Средние CV_L составили: в урбанизированных лесах на высоте 1.5 м $CV_L=50\pm6\%$; во внутригородских древесных насаждениях из разных видов древесных $CV_L=64\pm13\%$; во внутригородских древесных насаждениях из *A. negundo* $CV_L=59\pm12\%$; на высоте 0.5 м под пологом *R. idaeus* $CV_L=35\pm4\%$; на высоте 0.5 м под пологом *S. sorbifolia* $CV_L=46\pm2\%$.

Таким образом, инвазионные *S. sorbifolia* и *A. negundo* создают более высокое затенение, чем местные растения с аналогичной формой роста. При этом степень равномерности распределения локусов с повышенной и пониженной освещённостью в сообществах с доминированием местных и инвазионных растений не различается.

Доля света от освещённости на открытом месте. Относительно большими значения I_L были в пасмурную погоду (рис. 3). В частности, при полной облачности под полог

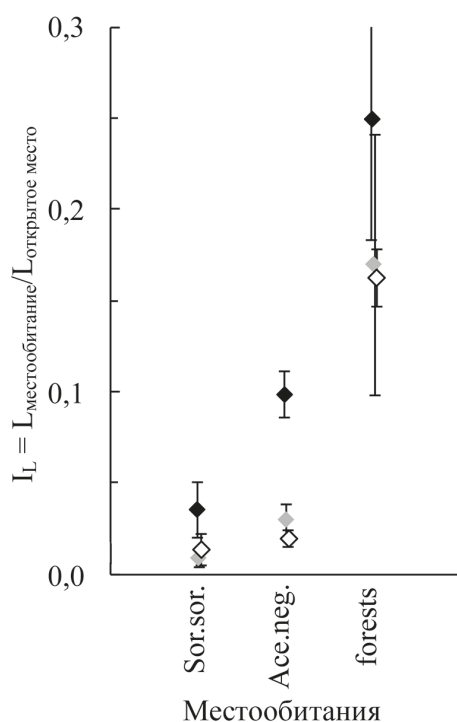


Рис. 3. Доля света, проникающего на высоту 0.5 м в зарослях *Sorbaria sorbifolia* (Sor.sor.), на высоте 1.5 в зарослях *Acer negundo* (Ace.neg.) и в случайных точках под пологом урбанизированных сосновых лесов (forests) во время ясной погоды (◇), при переменной (◆) и полной (◆) облачности. Вертикальные линии – SE.

S. sorbifolia проникало $4\pm1\%$ света от открытого места, под полог *A. negundo* – $10\pm1\%$, под полог сосновых лесов – $25\pm2\%$. В ясную погоду и при переменной облачности значения доли проникающего под полог света были меньше: под полог *S. sorbifolia* проникало около 1% света от открытого места, под полог *A. negundo* – 2–3%, под полог сосновых лесов – 18–17%.

В среднем в краевые зоны и небольшие опушки городских лесов проникало $24\pm3\%$ света от света на открытом месте; в среднем под полог городских лесов – $18\pm2\%$ на высоту 1.5 м и $17\pm2\%$ на высоту 0.5 м (рис. 4). Под кроны *A. negundo* проникало 5–6% света от света на открытом месте; в заросли других видов деревьев 8–11%. Под полог *S. sorbifolia* проникало $2\pm1\%$ света от света на открытом месте, а в контрольные варианты с *R. idaeus* – $4\pm1\%$. В специально подобранных самых затененных микроместообитаниях городских лесов доля света ожидаемо была минимальна – $1\pm1\%$.

На высоте 0.5 м под *S. sorbifolia* и *R. idaeus* значения I_L различались значимо ($t=2.94$;

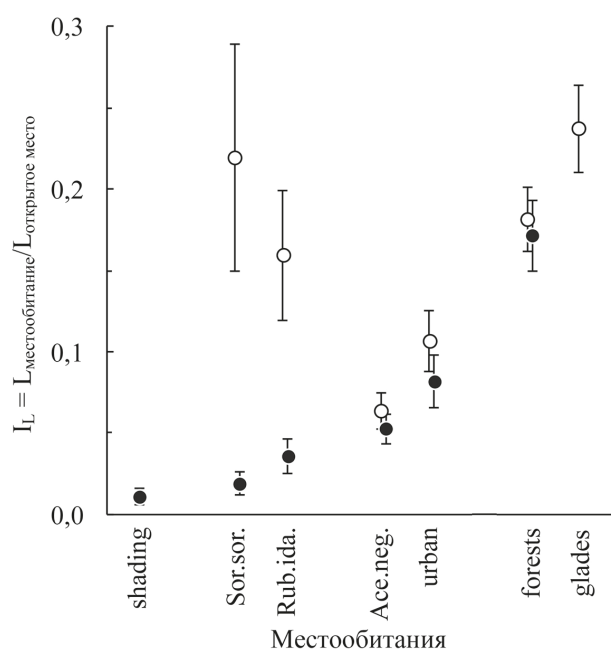


Рис. 4. Доля света от света на открытом месте на высоте 0.5 м (●) и 1.5 м (○) в разных местообитаниях и микроместообитаниях (самые тёмные места (shading); заросли *Sorbaria sorbifolia* (Sor.sor.), *Rubus idaeus* (Rub.ida.), *Acer negundo* (Ace.neg.) и других городских деревьев (urban), случайные точки под пологом урбанизированных сосновых лесов (forest), края древостоев и поляны (glades)). Вертикальные линии – SE.

$P=0.0322$; $dF=5$). Под пологом *A. negundo* и других городских деревьев доля освещения также значимо различалась на высоте 1.5 м ($t=2.19$; $P=0.0393$; $dF=23$), но не на высоте 0.5 м ($t=1.93$; $P=0.0657$; $dF=23$).

Перехват светового потока инвазивными растениями. Разность в интенсивности освещения над и под листовым пологом – это характеристика степени перехвата светового потока кронами. Над пологом листьев *S. sorbifolia* $L=66\pm 16$ лк $\times 10^2$, $I_L=22\pm 7\%$; над пологом листьев *R. idaeus* $L=42\pm 6$ лк $\times 10^2$, $I_L=16\pm 4\%$ (рис. 2–4). Следовательно, *S. sorbifolia* несколько более светолюбивый вид, который, по меньшей мере, в лесопарках Екатеринбурга обнаружен и изучен в лучше освещаемых местообитаниях, по сравнению с *R. idaeus*.

Характеристика перехвата светового потока кронами кустарников *S. sorbifolia* и *R. idaeus* – это разность между освещённостью на высотах 1.5 и 0.5 м. Аналогичная характеристика для *A. negundo* и сравнительно изученных деревьев в урбанизированном окружении – разность между освещённостью на открытом месте и на высоте 1.5 м, так как на высоте 0.5 м начинают сказываться эффекты от затенения высокими травами. Величина перехвата света в зарослях *S. sorbifolia* – $93\pm 1\%$ от уровня, падающего на кроны, в зарослях *R. idaeus* – $82\pm 3\%$. И эти различия значимы ($t=3.51$; $P=0.0169$; $dF=5$). Величина перехвата света в зарослях *A. negundo* – $94\pm 1\%$, в зарослях других деревьев – $89\pm 2\%$ и эти различия также значимы ($t=2.19$; $P=0.0393$; $dF=23$).

Обсуждение

Полученные результаты поддерживают предположение, что освещение под кронами (пологом листьев) двух видов инвазивных растений – *Acer negundo* и *Sorbaria sorbifolia* – ниже, чем в сходных местообитаниях, в которых доминировали другие древесные растения. Надёжность этого заключения обусловлена несколькими обстоятельствами. Во-первых, заключение о высокой затеняющей способности получено в отношении обоих инвазивных растений. Во-вторых, про-

анализировано много измерений. При этом сопоставлены эффекты затенения в сообществах инвазивных и аборигенных растений близких жизненных форм, и дополнительно сопоставлена освещённость в широком ряду местообитаний. В-третьих, вывод о высоком затеняющем влиянии инвазивных растений получен в отношении обоих использованных характеристик светового режима – и интенсивности освещения, и доли света от освещённости на открытом месте. Уровни перехвата светового потока кронами *A. negundo* и *S. sorbifolia* в 93–94% значительны и средняя освещённость под инвазивными растениями составляет 400–1300 лк, что примерно соответствует диапазону уровня освещения от пасмурного дня до момента перед заходом солнца. Условия освещения под кронами *S. sorbifolia*, по-видимому, близки к таким, что их можно считать достаточным объяснением угнетения подпологовой растительности. Для положительного углеродного баланса минимальная плотность фотонного потока должна быть 0.5–1% от измеренного над сообществом в середине дня [Зитте и др., 2007; с. 54].

Представленные данные подтверждают, что специфичное влияние на световой режим – реальный механизм средообразующего влияния *A. negundo* во вторичном ареале [Saccone et al., 2010; Bottollier-Curtet et al., 2012]. Представленные данные также подтверждают этот механизм для *S. sorbifolia*, хотя ранее он был не подтверждён [Lanta et al., 2013].

Необходимо отметить, что пробные площади в насаждениях с *A. negundo* и контрольные к ним подобраны с учётом такого критерия, как сходные значения сомкнутости крон [Veselkin, Dubrovin, 2019]. Несмотря на это, в зарослях *A. negundo* в среднем темнее, чем в сходных сообществах с доминированием других видов деревьев. Способность к повышенному перехвату света может объясняться густыми кронами *A. negundo* с более высоким индексом листовой поверхности (LAI), чем у местных видов [Porte et al., 2011]. Возможно, что также имеет значение форма роста *A. negundo* в виде невысокого многоствольного дерева с наклонными стволами и низко расположенными ветвями [Kostina

et al., 2016]. Не исключено, что высокая сомкнутость крон *A. negundo* может частично объясняться высокой сохранностью листьев вследствие низких во вторичном ареале уровней повреждения его листьев фитофагами. Известно, что по сравнению с фоновыми южнотаёжными листопадными деревьями *Betula pendula* Roth и *Salix caprea* L. у *A. negundo* повреждение листьев фитофагами качественно ниже [Veselkin et al., 2019].

Биологические особенности *S. sorbifolia* во вторичном ареале в сравнении с местными видами изучены, по-видимому, меньше, чем аналогичные особенности *A. negundo*. В Скандинавии у *S. sorbifolia* не удалось установить специфики распределения листьев и биомассы, как и количества проникающего под полог света по сравнению с местными кустарниками, прежде всего, по сравнению с *R. idaeus* [Lanta et al., 2013]. Ранее показано, что на Среднем Урале *S. sorbifolia* растёт в местах с относительно разреженными древостоями сосны обыкновенной [Veselkin et al., 2020] и прямые оценки освещённости, приведённые в настоящей работе, это подтверждают. Оценки LAI и активности фитофагов для *S. sorbifolia* во вторичном ареале не известны.

Морфология крон, куртин или зарослей, способ освоения ветвями и листьями пространства важны для формирования светового режима в сообществах. Степень затенения очевидно связана не только с общей площадью листьев на единицу площади сообщества, но и с размером листьев, и со способом их расположения в пространстве. Ожидается, что со снижением высоты расположения крон, например, в ряду – сосновые леса – заросли *A. negundo* и других видов деревьев – заросли *S. sorbifolia* и *R. idaeus* – степень затенения под ними сильно возрастает. Во вторичном ареале *A. negundo* и *S. sorbifolia* сближает способность формировать протяжённые сомкнутые куртины с листьями, густо расположенными примерно в одном слое. Для умеренных широт, где солнце не бывает в зените и длинные сумерки, большое значение, по-видимому, имеет способность перехватывать боковые потоки света. Между тем, о структуре крон и куртин местных и чужеродных древесных растений известно мало

и формализовать эти знания трудно. Попытка оценить неоднородность распределения освещения, то есть оценить соотношение локусов сильного и слабого затенения, была связана со стремлением понять, не может ли воздействие инвазионных растений реализовываться не только через сильное затенение, но и через изменение неоднородности распределения световых пятен. Пока это предположение не подтвердилось.

Из других факторов, не связанных с биологическими особенностями растений, но способных влиять на уровень света под кронами, нужно учитывать последствия фрагментации местообитаний. Урбанизация всегда сопровождается фрагментацией. Доступность света, как основного ресурса, необходимого для растений, в краевых зонах лесных сообществ увеличивается [Weathers et al., 2001; Vallet et al., 2010]. Следовательно, с уменьшением размеров фрагментированных сообществ можно ожидать возрастания степени освещения в них. Однако, несмотря на то, что некоторые изученные сообщества с доминированием *A. negundo* были сильно фрагментированными, интенсивность света под ними была низкой.

В работе измерена интенсивность света видимого спектра, а не фотосинтетически усваиваемого диапазона – ФАР. С одной стороны, основные части диапазонов видимого света (длина волны 380–780 нм) и ФАР (длина волны 380–710 нм) совпадают. И поэтому закономерности, установленные при измерении видимого диапазона и ФАР, не должны сильно различаться. С другой стороны, было бы все же оправдано провести измерения, аналогичные описанным, в диапазоне ФАР. Это позволит оценить степень изменения спектрального состава света после избирательного поглощения листьями волн красной части спектра в диапазоне 620–680 нм.

При интерпретации полученных результатов нужно учитывать, что высокое затенение вследствие сомкнутого полога листьев может коррелировать с активным использованием не только света, но и других ресурсов. Например, для построения большой массы листьев и несущих их ветвей и побегов нужно много макро- и микроэлементов. На поддержание

тургора листьев и процесса транспирации необходимо много воды. Следовательно, повышенное затенение, создаваемое инвазионными растениями, может косвенно указывать на их высокую конкурентоспособность и в отношении поглощения почвенных ресурсов. Помимо этого, в сообществах с большой массой листьев образуется много листового опада, что также может иметь средообразующее значение. Большое затенение вследствие густых и/или низко расположенных крон – это также возможный индикатор изолированности / закрытости зарослей инвазионных растений от потока диаспор других организмов. Инвазионные растения обычно способствуют снижению разнообразия и численности банков семян в аборигенных сообществах [Gioria et al., 2012; Gioria, Osborne, 2014]. На Среднем Урале это подтверждено для *A. negundo* [Veselkin et al., 2018], но не для *S. sorbifolia* [Veselkin et al., 2020].

Легко предсказываемое и реально наблюдаемое следствие высокого затенения, возможного эффективного использования почвенных ресурсов и ограничения формирования почвенных банков семян – угнетение растительности в подкороновом пространстве инвазионных растений. Доказательств этого довольно много [Maron, Marler, 2008; Hejda et al., 2009; Emelyanov, Frolova, 2011; Lanta et al., 2013; Kostina et al., 2016], в том числе, и на Среднем Урале как в отношении *A. negundo* [Veselkin, Dubrovin, 2019], так и в отношении *S. sorbifolia* [Veselkin et al., 2020]. Существенно, что под пологом *S. sorbifolia* исчезновение вегетирующих видов было избирательным: преимущественно исчезали относительно светолюбивые и относительно сухолюбивые виды, а более тенелюбивые и влаголюбивые виды были устойчивыми [Veselkin et al., 2020].

Заключение

В соответствии с представленными результатами под кронами (пологом листьев) двух видов инвазионных растений – *Acer negundo* и *Sorbaria sorbifolia* – по сравнению со строго подобранными местными контрольными видами количество света меньше. С одной стороны, этот результат кажется несколько

тривиальным, легко интуитивно представляемым. Он соответствует ощущениям непредвзятого наблюдателя, который хоть раз наблюдал куртины *A. negundo* и *S. sorbifolia* изнутри, даже невооружённым глазом. С другой стороны, и в отношении *A. negundo*, и в отношении *S. sorbifolia* ранее были опубликованы результаты, которые не подтверждали гипотезу о специфичном изменении ими световых условий. Основное значение результатов состоит в количественной характеристике степени затенения и перехвата света в зарослях *A. negundo* и *S. sorbifolia*. *A. negundo* перехватывал около 94% света от уровня, падающего на его кроны, *S. sorbifolia* – около 93%. По сравнению со средним перехватом света кронами деревьев в урбанизированных лесах Среднего Урала на уровне 82%, это свидетельствует о существенно более сильном затенении, вызываемом инвазионными растениями. При этом средний, то есть усреднённый для разных степеней облачности уровень освещения в зарослях *A. negundo* составляет около 1300 лк, а в зарослях *S. sorbifolia* – около 400 лк. Таким образом, на Среднем Урале способность исследованных чужеродных растений влиять на аборигенные сообщества обусловлена, по меньшей мере, сильным уменьшением под влиянием *A. negundo* и *S. sorbifolia* количества света, доступного для других видов в сообществах.

Финансирование работы

Разные части полевых измерений выполнены в рамках: темы государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН № АААА-А19-119031890084-6; проекта РФФИ 20-54-00024 (совместный конкурс РФФИ и БФФИ); проекта РФФИ № 20-44-660013, финансируемого совместно РФФИ и Правительством Свердловской области.

Вклад авторов

Веселкин Д.В. – идея, разработка схемы наблюдений; анализ и обсуждение данных, подготовка основы текста; Дубровин Д.И. – разработка схемы наблюдений; анализ и обсуждение данных; полевые измерения;

Золотарева Н.В., Липихина Ю.А., Подгаевская Е.Н., Пустовалова Л.А., Рафикова О.С., Яковлева А.В. – полевые измерения, обсуждение данных. Все авторы прочли рукопись и согласны с её содержанием.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Соблюдение этических стандартов

Статья не содержит никаких исследований с участием живых организмов в экспериментах, выполненных кем-либо из авторов.

Литература

- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Чёрная книга флоры Средней России. М.: ГЕОС, 2009. 494 с.
- Зитте П., Вайлер Э.В., Кадерайт Й.В., Брезински А., Кёрнер К. Ботаника: В 4 т. Т.4. Экология: Пер. с нем. / Под ред. А.Г. Еленевского, В.Н. Павлова. М.: Академия. 2007. 248 с.
- Коропачинский И.Ю., Стовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. 707 с.
- Куликов П.В., Золотарева Н.В., Подгаевская Е.Н. Эндемичные растения Урала во флоре Свердловской области. Екатеринбург: Гощицкий, 2013. 610 с.
- Лархер В. Экология растений. М.: Мир, 1978. 384 с.
- Третьякова А.С. Особенности распределения чужеродных растений в естественных местообитаниях на урбанизированных территориях Свердловской области // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2016. Т. 26, вып. 1. С. 85–93.
- Флора Сибири. Rosaceae. Новосибирск: Наука, 1988. 200 с.
- Чёрная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Под ред. В.И. Парфенова, А.В. Пугачевского. Минск: Беларуская навука, 2020. 407 с.
- Berg C., Drescherl A., Essl F. Using relevé-based metrics to explain invasion patterns of alien trees in temperate forests // TUEXENIA. 2017. Vol. 37. P. 127–142. doi.org/10.14471/2017.37.012.
- Bottollier-Curtet M., Charcosset J., Poly F., Planty-Tabacchi A.M., Tabacchi E. Light interception principally drives the understory response to boxelder invasion in riparian forests // Biol Invasions. 2012. Vol. 14. P. 1445–1458. https://doi.org/10.1007/s10530-011-0170-0.
- 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. Vol. 18. P. 1883–1894. https://doi.org/10.1007/s10530-016-1131-4.
- Canham C.D., Finzi A.C., Pacala S.W., Burbank D.H. Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: Interspecific variation in light transmission by canopy trees // Canadian Journal of Forest Research. 1994. Vol. 24. P. 337–349. https://doi.org/10.1139/x94-046.
- Catford J.A., Jansson R., Nilsson C. Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework // Diversity and Distributions. 2009. Vol. 15. P. 22–40. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00521.x.
- 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. Vol. 318. P. 34–43. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.036.
- Dobravolskaitė R., Gudžinskas Z. Alien plant invasion to forests in the vicinity of communal gardens // Botanica Lithuanica. 2011. Vol. 17. No. 2–3. P. 73–84.
- Dyderski M.K., Jagodziński A.M. Similar impacts of alien and native tree species on understory light availability in a temperate forest // Forests. 2019. Vol. 10(11). 951. https://doi.org/10.3390/f10110951.
- Emelyanov A.V., Frolova S.V. Ash-leaf maple (*Acer negundo* L.) in coastal phytocenoses of the Vorona River // Rus. J. Biol. Invasions. 2011. Vol. 2. No. 2–3. P. 161–163. https://doi.org/10.1134/S2075111711030052.
- EUNIS habitat classification descriptions (Электронный ресурс) // (https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eunis-habitat-classification). Проверено 20.04.2021.
- Gilliam F.S., Roberts M.R. Interactions between the Herbaceous Layer and Overstory Canopy of Eastern Forests // The Herbaceous Layer in Forests of Eastern North America / Ed. F.S. Gilliam. Oxford, UK: Oxford University Press, 2014. P. 233–254. DOI: 10.1093/acprof:osobl/9780199837656.003.0009.
- Gioria M., Osborne B.A. Resource competition in plant invasions: emerging patterns and research needs // Front. Plant Sci. 2014. Vol. 5. No. 501. DOI: 10.3389/fpls.2014.00501.
- Gioria M., Pyšek P., Moravcová L. Soil seed banks in plant invasions: promoting species invasiveness and long-term impact on plant community dynamics // Preslia. 2012. Vol. 84. P. 327–350.
- Hejda M., Pyšek P., Jarošík V. Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities // J. Ecol. 2009. Vol. 97. No. 3. P. 393–403. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01480.x
- Jurševska G. Invasive tree taxa in major dendrological plantations in Jelgava district // Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis. 2007. Vol. 7. No. 2. P. 149–158.
- Knight K.S., Oleksyn J., Jagodziński A.M., Reich P.B., Kasprowicz M. Overstorey tree species regulate colonization by native and exotic plants: A source of positive relationships between understory diversity and invasibility // Diversity and Distributions. 2008. Vol. 14. P. 666–675. doi:10.1111/j.1472-4642.2008.00468.x.
- Kostina M.V., Yasinskaya O.I., Barabanshchikova N.S., Orlyuk F.A. Toward a issue of box elder invasion into the forests around Moscow // Rus. J. Biol. Invasions. 2016. Vol. 7. No. 1. P. 47–51. https://doi.org/10.1134/S2075111716010069.

- Landuyt D., Lombaerde E.D., Perring M.P., Hertzog L.R., Ampoorter E., Maes S.L., Frenne P.D., Ma S., Proesmans W., Blondeel H. et al. The functional role of temperate forest understorey vegetation in a changing world // *Glob. Chang. Biol.* 2019. 2. Vol. 5. P. 3625–3641. <https://doi.org/10.1111/gcb.14756>.
- Lanta V., Hyvönen T., Norrdahl K. Non-native and native shrubs have differing impacts on species diversity and composition of associated plant communities // *Plant. Ecol.* 2013. Vol. 214. No. 12. P. 1517–1528. <https://doi.org/10.1007/s11258-013-0272-0>.
- Maron J.L., Marler M. Effects of native species diversity and resource additions on invader impact // *Am. Nat.* 2008. Vol. 172. No. 1. P. 18–33. DOI: 10.1086/588303.
- Nilsson C., Engelmark O., Cory J., Forsslund A., Carlborg E. Differences in litter cover and understory flora between stands of introduced lodgepole pine and native Scots pine in Sweden // *For. Ecol. Manage.* 2008. Vol. 255. No. 5–6. P. 1900–1905. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.012>.
- Porte A.J., Lamarque L.J., Lortie C.J., Michalet R., Delzon S. Invasive *Acer negundo* outperforms native species in non-limiting resource environments due to its higher phenotypic plasticity // *BMC Ecology*. 2011. Vol. 11: 28. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-28>.
- Pyšek P., Lambdon P.W., Arianoutsou M., Kühn I., Pino J., Winter M. Alien Vascular Plants of Europe // In: DAI-SIE handbook of alien species in Europe. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. P. 43–61. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8280-1_4.
- Reinhart K.O., Gurnee J., Tirado R., Callaway R.M. Invasion through quantitative effects: intense shade drives native decline and invasive success // *Ecological applications: a publication of the Ecological Society of America*. 2006. Vol. 16. No. 5. P. 1821–1831.
- Richardson D.M.; Pyšek P.; Rejmánek M.; Barbour M.G.; Panetta F.D.; West C.J. Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions // *Divers. Distrib.* 2000. Vol. 6. No. 2. P. 93–107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>.
- Rosario L.C. *Acer negundo*. Fire Effects Information System (FEIS) [Online]. USDA ForestService, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences laboratory. 1988 // (https://www.feis-crs.org/feis/faces/index.xhtml?_afPfm=y%7C%2Ffaces%2Findex.xhtml%3F_sessionid%3D643C2E17A6A3897DE7A5164F7B70016B). Accessed on 25.04.2021.
- Saccone P., Pagès J.P., Girel J., Brun J.J. Michalet R. *Acer negundo* invasion along a successional gradient: early direct facilitation by native pioneers and late indirect facilitation by conspecifics // *New Phytologist*. 2010. Vol. 187. P. 831–842. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03289.x>.
- Shavnin S.A., Veselkin D.V., Vorobeichik E.L. et al. Factors of pine-stand transformation in the city of Yekaterinburg // *Contemp. Probl. Ecol.* 2016. No. 7. P. 844–852. <https://doi.org/10.1134/S199542551607009X>.
- Tomaszewski D. *Sorbaria* species cultivated in Poland // *Dendrobiology*. 2001. Vol. 46. P. 59–64.
- Vallet J., Beaujouan V., Pithon J. et al. The effects of urban or rural landscape context and distance from the edge on native woodland plant communities // *Biodivers. Conserv.* 2010. Vol. 19. No. 12. P. 3375–3392. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9901-2>.
- Veselkin D.V., Dubrovin D.I. Diversity of the grass layer of urbanized communities dominated by invasive *Acer negundo* // *Russian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 50. No. 5. P. 413–421. <https://doi.org/10.1134/S1067413619050114>
- Veselkin D.V., Galako V.A., Vlasenko V.E., Shavnin S.A., Vorobeichik E.L. Relationship between the Characteristics of the State of Scots Pine Trees and Tree Stands in a Large Industrial City // *Contemporary Problems of Ecology*. 2015. Vol. 8. No. 2. P. 243–249. <https://doi.org/10.1134/S1995425515020158>.
- Veselkin D.V., Kiseleva O.A., Ekshibarov E.D., Rafikova O.S., Korzhinevskaya A.A. Abundance and Diversity of Seedlings of the Soil Seed Bank in the Thickets of the Invasive Species *Acer negundo* L. // *Rus. J. Biol. Invasions*. 2018. Vol. 9. No. 2. P. 108–113. <https://doi.org/10.1134/S2075111718020133>.
- Veselkin D.V., Kuyantseva N.B., Chashchina O.E., Mumber A.G., Zamshina G.A., Molchanova D.A. Levels of Leaf Damage by Phyllophages in Invasive *Acer negundo* and Native *Betula pendula* and *Salix caprea* // *Rus. J. Ecol.* 2019. Vol. 50. P. 511–516. <https://doi.org/10.1134/S1067413619060134>
- Veselkin D.V., Zolotareva N.V., Lipikhina Yu.A. et al. Diversity of Plants in Thickets of Invasive *Sorbaria sorbifolia*: Differences in the Effect on Aboveground Vegetation and Seed Bank // *Russ J. Ecol.* 2020. Vol. 51. P. 518–527. <https://doi.org/10.1134/S1067413620060090>.
- Weathers K.C., Cadenasso M.L., Pickett S.T. Forest edges as nutrient and pollutant concentrators: potential synergisms between fragmentation, forest canopies, and the atmosphere // *Conserv. Biol.* 2001. Vol. 15. No. 6. P. 1506–1514.
- World Flora Online (Электронный ресурс) // (<http://www.worldfloraonline.org>). Проверено 30.03.2021.

SHADING AND LIGHT INTERCEPTION IN THICKETS OF INVASIVE *ACER NEGUNDO* AND *SORBARIA SORBIFOLIA*

© 2021 Veselkin D.V., Dubrovin D.I., Rafikova O.S., Lipikhina Yu.A., Zolotareva N.V.,
Podgaevskaya E.N. *, Pustovalova L.A., Yakovleva A.V.

Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 620144, Yekaterinburg, Russia
*e-mail: enp@ipae.uran.ru

The aim of the work is to establish how greatly the light conditions change under the leaf canopy of two invasive plant species in the Middle Urals – *Acer negundo* and *Sorbaria sorbifolia*. In June – August 2020, using a portable light meter, 8370 measurements of illumination were performed in forest parks (at a height of 1.5 and 0.5 m, i.e. above and below the canopy of the leaves of the invasive shrub *S. sorbifolia* and the native shrub *Rubus idaeus*; in random points under the canopies of *Pinus sylvestris*; on glades, paths and forest edges) and in urban habitats (at a height of 1.5 m and 0.5 m in dense thickets of the invasive tree *A. negundo* and other tree species). The average illumination intensity was as following: under *S. sorbifolia* – $4 \pm 1 \text{ lux} \times 10^2$; under *R. idaeus* – $7 \pm 1 \text{ lux} \times 10^2$; in *A. negundo* thickets – $13 \pm 2 \text{ lux} \times 10^2$; in thickets of other tree species – $25 \pm 4 \text{ lux} \times 10^2$; under the canopies of urban pine forests – $80 \pm 10 \text{ lux} \times 10^2$; in the forest edges – $96 \pm 14 \text{ lux} \times 10^2$. In dense thickets, *A. negundo* intercepts about 94% of the light falling on its canopies, *S. sorbifolia* – about 93%. This is significantly higher than the light interception level in habitats used as control: other tree species canopies of greatly urbanized habitats intercept about 89%, the thickets of *R. idaeus* – about 82%. Thus, invasive plants reduce the amount of light available to other plant species in communities significantly more than native plants.

Keywords: invasive plants, light regime, light intensity, shading, urbanized habitats.