

Научная статья

УДК 630*12;581.543

DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-55-70

Цифровое сканирование роста и развития древесных растений

А.В. Кабонен[✉], аспирант; ResearcherID: [AAV-7277-2021](https://orcid.org/0000-0002-1717-3085),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1717-3085>

О.И. Гаврилова, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [AAF-6295-2019](https://orcid.org/0000-0002-5618-8239),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5618-8239>

И.Т. Кищенко, д-р биол. наук, проф.; ResearcherID: [AAC-1083-2019](https://orcid.org/0000-0002-1039-1020),

ORCID: [http://orcid.org/0000-0002-1039-1020](https://orcid.org/0000-0002-1039-1020)

Петрозаводский государственный университет, ул. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; alexkabonen@mail.ru[✉], ogavril@mail.ru

Поступила в редакцию 26.12.20 / Одобрена после рецензирования 28.03.21 / Принята к печати 30.03.21


Аннотация. Представлены фотометрическое устройство и методика, позволяющие в полевых условиях с максимальными детализацией и точностью быстро фиксировать характеристики органов или частей древесных растений в процессе их роста. Методика апробирована при изучении сезонной динамики интродуцированного в условия средней тайги вида *Viburnum lantana* L. и вида местной флоры *V. opulus* L. Показано, что в ритмике сезонной динамики видов есть отличия, связанные с влиянием текущего и предшествующего состояний окружающей среды. Наибольшая зависимость наступления начала роста и основного числа фенодат наблюдается от температуры воздуха. Выявлено, что раннее начало и окончание вегетации свойственны *V. opulus*. Рост и развитие *V. lantana* происходят при более теплой погоде. Побеги *V. opulus* начинают расти 18–21 мая, через 11 сут. рост отмечается у *V. lantana*. Побеги *V. opulus* прекращают расти 19 июня, побеги *V. lantana* – на 7 сут. позже. Наиболее длинные побеги текущего года (101 мм) формируются у *V. lantana*, это на 26 мм больше, чем у *V. opulus*. Начало роста побегов у *V. opulus* отмечается при среднесуточной температуре воздуха +4,7 °C и сумме положительных температур 187 °C, у *V. lantana* данный процесс начинается соответственно при +8,8 °C и 308 °C, причем для начала роста виду требуется 6 дн. со среднесуточной температурой выше +10 °C. Таким образом, изучаемые виды рода *Viburnum* можно условно разделить на 2 категории: рано (*V. opulus*) и поздно (*V. lantana*) начинающие и заканчивающие сезонное развитие. Культивируемый в таежную зону *V. lantana* относится к высокоперспективным видам интродуцентов, поэтому он может быть рекомендован для введения в культуру ценозы и озеленения населенных пунктов таежной зоны.

Ключевые слова: фенология растений, *Viburnum*, *Viburnum opulus*, *Viburnum lantana*, сезонное развитие древесных растений, прирост побегов, методика измерения древесных растений

Благодарности: Исследование выполнено при поддержке Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия в рамках Программы поддержки прикладных научных исследований и разработок студентов и аспирантов ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет».

Для цитирования: Кабонен А.В., Гаврилова О.И., Кищенко И.Т. Цифровое сканирование роста и развития древесных растений // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 6. С. 55–70. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-55-70>

© Кабонен А.В., Гаврилова О.И., Кищенко И.Т., 2022

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

Original article

Digital Scanning of Woody Plant Growth and Development

Alexey V. Kabonen[✉], Postgraduate Student; ResearcherID: [AAV-7277-2021](https://orcid.org/0000-0002-1717-3085),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1717-3085>

Olga I. Gavrilova, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAF-6295-2019](https://orcid.org/0000-0002-5618-8239),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5618-8239>

Ivan T. Kishchenko, Doctor of Biology, Prof.; ResearcherID: [AAC-1083-2019](https://orcid.org/0000-0002-1039-1020),

ORCID: [http://orcid.org/0000-0002-1039-1020](https://orcid.org/0000-0002-1039-1020)

Petrozavodsk State University, ul. Lenina, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; alexkabonen@mail.ru[✉], ogavril@mail.ru

Received on December 26, 2020 / Approved after reviewing on March 28, 2021 / Accepted on March 30, 2021

Abstract. The paper presents a photometric device and a procedure for quickly recording the characteristics of organs or parts of woody plants during their growth in the field conditions with maximum detail and accuracy. The procedure was tested in the study of seasonal dynamics of *Viburnum lantana* L. introduced in Middle Taiga and a species of local flora *V. opulus* L. The research results show that there are differences in the species seasonal dynamics rhythm associated with the influence of the current and previous environmental conditions. Air temperature explains the greatest dependence of the beginning of growth and the majority of phenodates. It was found that early beginning and end of vegetation is typical for *V. opulus*. The growth and development of the introduced *V. lantana* occur in a warmer environment. Shoots of *V. opulus* begin to grow on May 18–21, after 11 days growth is observed in *V. lantana*. The earliest terms of shoot growth cessation were found in *V. opulus* (June 19); *V. lantana* shoot growth ends 7 days later. The longest shoots of the current year (101 mm) were formed in *V. lantana*, which is 26 mm longer than in *V. opulus*. The beginning of shoots growth in *V. opulus* is observed at +4.7 °C average daily air temperature and the sum of positive temperatures 187 °C, in *V. lantana* this process begins at +8.8 °C and 308 °C, respectively, and the species requires 6 days with average daily temperature above +10 °C to start growing. Thus, the studied *Viburnum* species can be conditionally divided into 2 groups: early (*V. opulus*) and late (*V. lantana*) beginning and ending seasonal development. Cultivated in the taiga zone *V. lantana* belongs to the highly promising introduced species, so it can be recommended for introduction into cultural cenoses and landscaping of settlements in the taiga zone.

Keywords: plant phenology, *Viburnum*, *Viburnum opulus*, *Viburnum lantana*, woody plant seasonal development, shoot growth, woody plant measurement procedure

Acknowledgments: The research was supported by the Karelia Innovation Business Startup MVP within the framework of the Program for Support of Applied Research and Development of Students and Postgraduate Students of the Petrozavodsk State University.

For citation: Kabonen A.V., Gavrilova O.I., Kishchenko I.T. Digital Scanning of Woody Plant Growth and Development. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2022, no. 6, pp. 55–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-55-70>



Введение

Исследование процессов сезонного роста и развития биоты в пределах естественного ареала и при интродукции позволяет установить степень адаптации видов к новым условиям произрастания [16]. В последние 10-летия наблюдения за фенологическим развитием деревьев становятся актуальными и для установления реакции растений на происходящее изменение климата, которое может повлечь за собой перемены в практике интродукции из-за сдвигов границ зимних изотерм [18].

Методы исследований роста растений базируются на полевых измерениях. Для изучения сезонной динамики стеблей (побегов) их приросты измеряют сантиметровой линейкой [12]. При замерах динамики длины и диаметра плодов и шишек используют штангенциркуль [6]. Изучение роста листовых пластинок по площади основаны на их оконтуривании планиметром [7]. При исследованиях (фенологических), не требующих проведения измерений, применяют методику визуального осмотра [3] и рекомендации по унификации наблюдений [11]. Данные методы сбора информации являются классическими и используются продолжительное время.

Трудоемкость и отсутствие единообразия в методиках препятствуют изучению сезонной динамики растений и нередко делают невозможным сопоставление результатов исследований разных авторов. При механическом контакте с измеряемыми органами могут происходить их повреждения, отражающиеся на течении естественных процессов. В настоящее время появились новые возможности наблюдения за древесными растениями, обеспечивающие благодаря развитию методов неразрушающей оцифровки, основанных на применении сканирующих устройств (фотоаппаратов), максимальную детализацию и точность, позволяющие получить набор цифровых данных, что предоставляет возможность для всестороннего анализа. Например, Henke et. al. [19] с помощью переносного сканирующего устройства исследовали сезонный рост листовых пластинок тополя канадского (*Populus × canadensis* Moench) для последующего моделирования развития биомассы.

Цель – выявление оформившихся под влиянием метеорологических факторов закономерностей сезонной динамики местного вида *Viburnum opulus* L. и интродуцированного в условия Карельского таежного района вида *V. lantana* L. на основе применения неразрушающего цифрового сканирования органов растений в процессе их роста и развития.

Объекты и методы исследования

Экспериментальное исследование проводили в 2020 г. на территории арборетума Ботанического сада Петрозаводского государственного университета (рис. 1). Объектами исследований служили калина обыкновенная, или красная (*Viburnum opulus*), и калина гордовина, или черная (*Viburnum lantana*), – абортген и интродуцент соответственно. Каждый вид в условиях Ботанического сада представлен групповой посадкой из 10 особей. Условия произрастания растений одинаковые. Характеристика объектов приведена в табл. 1. Фенологические наблюдения за видами осуществлялись в течение 10 предшествующих лет по общепринятой методике [3].

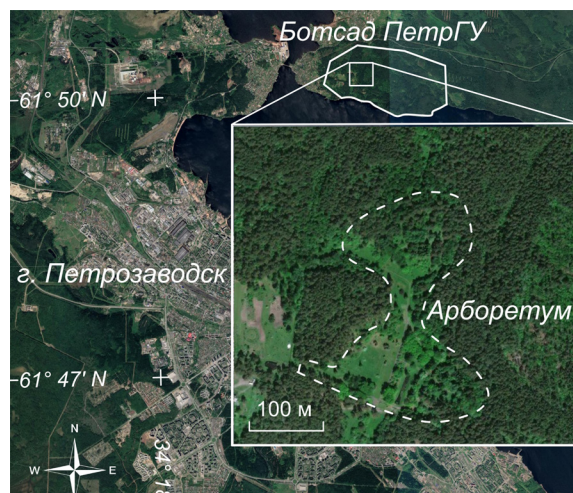


Рис. 1. Расположение арборетума Ботанического сада ПетрГУ

Fig. 1. Location of the PetrSU Botanical Garden

Таблица 1

Характеристика объектов исследований Characteristics of research objects

| Вид | Происхождение посадочного материала | Возраст, лет | Средняя высота, м | Средний диаметр кроны, м |
|------------------------|-------------------------------------|--------------|-------------------|--------------------------|
| <i>Viburnum opulus</i> | – | 39 | 3,4±0,6 | 2,9±0,5 |
| <i>V. lantana</i> | Санкт-Петербург | 37 | 2,8±0,4 | 2,1±0,3 |

Наблюдения за метеорологическими условиями 2020 г. проводили на метеостанции Davis Vantage Pro 2 Plus (США), установленной в 100 м западнее арборетума. Определяли температуру воздуха, °С (точность – 0,3 °С); интенсивность солнечного излучения, Вт/м² (точность – 5 %); относительную влажность воздуха, % (точность – 2 %). При анализе погодных условий за предшествующие 10 лет использовали данные Карельской гидрометеорологической обсерватории, расположенной в 7 км к юго-западу от Ботанического сада.

Для цифрового сканирования сезонных изменений растений было разработано переносное устройство (рис. 2), представляющее собой модернизированный аналог устройства, используемого в работе [19]. Устройство имеет жесткую и легкую переносную алюминиевую конструкцию в виде рамы 15×30 см. В ее передней части установлен экран с фоном из миллиметровой бумаги. Для удобства линейных расчетов обозначены красными линиями середина горизонтальной оси и начало оси вертикали (2 см от левого края). В процессе фотосканирования размеченные контуры служили ориентиром для прикладывания частей растений.

Для оцифровки органов растений в задней части рамы закреплена зеркальная камера (фотоаппарат Canon EOS 650D). Использовано полное разрешение изображения 5184×3456 пикс. В качестве преимуществ этой камеры можно отметить наличие 9-точечной системы автофокусировки по широкой зоне и высокие характеристики съемки при низкой освещенности, что помогало при фотофиксации растущих органов растений в естественной среде обитания (плохая освещенность, ветер). Такое устройство обеспечивало прочность конструкции, точность сбора данных и простоту использования, а также позволяло легко работать со снимками при их анализе.

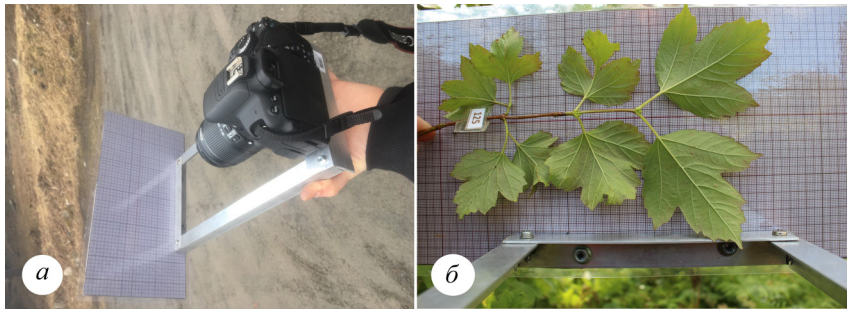


Рис. 2. Фотометрическое устройство: *a* – общий вид устройства; *б* – результат съемки *Viburnum opulus* при помощи устройства

Fig. 2. Photometric device: *a* – general view of the device; *б* – result of shooting *Viburnum opulus* with the device

Для получения представительной выборки при оцифровке сезонного роста отобрано по 20 побегов с почками у каждого растения. К выбранным побегам прикреплены бирки с номером. Цифровое сканирование произведено в течение периода вегетации: пронумерованные побеги фотографировали каждые 2–3 сут. – в результате получена 71 фотография, отражающая динамику изменений для всех исследуемых побегов. Данная методика позволила одновременно с ростом побегов фиксировать и фенологическое развитие растений, обеспечив комплексность сбора данных.

По результатам наблюдений за сезонной динамикой растений и метеорологическими условиями сформирована база данных, обработка материалов которой проведена с помощью рекомендуемых для этих целей методов статистического анализа [5]. Оценка перспективности интродукции древесных растений осуществлена по методике П.И. Лапина и С.В. Сидневой [8]. При этом учтены следующие показатели: степень ежегодного вызревания побегов, зимостойкость, сохранение габитуса, побегообразовательная способность, регулярность прироста осевых побегов, способность к генеративному развитию, возможность размножения в культуре, общая оценка перспективности.

Результаты исследования и их обсуждение

Рост растений. Статистическая обработка результатов наблюдений за ростом побегов показала, что ошибка определения среднеарифметической величины прироста составляет 3–4 %, а коэффициент вариации – 14–18 %. При сравнении начала роста побегов отдельных видов выяснилось, что ранний рост наблюдается у *V. opulus* (18–21 мая). Через 11 сут. рост отмечается и у *V. lantana*.

Физиологические реакции растений, в том числе и ростовые процессы, определяются диапазоном толерантности вида к факторам среды. Следовательно, установив значения факторов в ключевые периоды роста, а также направление, форму и силу связи между динамикой прироста и изменчивостью этих факторов, можно судить о степени их соответствия требованиям организма. При этом, как отмечалось авторами [17, 21], наиболее значимым фактором среды является температура воздуха. Начало роста побегов при среднесуточной температуре воздуха +4,7 °C отмечалось у *V. opulus*, у *V. lantana* рост начинался при 8,8 °C (рис. 3).

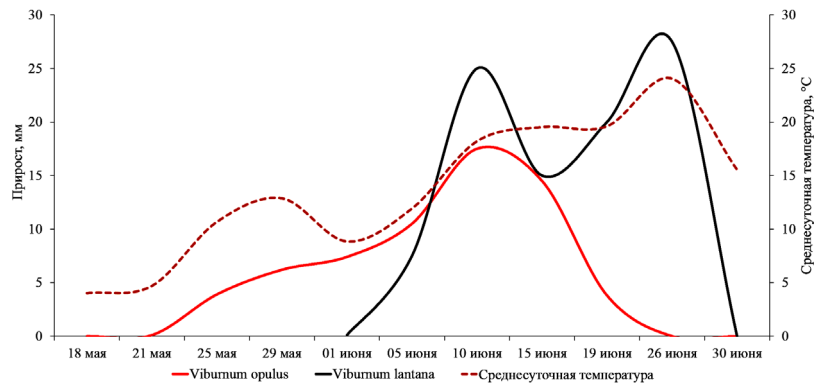


Рис. 3. Динамика суточного прироста побегов видов *Viburnum* и среднесуточной температуры воздуха

Fig. 3. Dynamics of daily shoot gain of *Viburnum* species and average daily air temperature

На жизнедеятельность растений оказывает влияние не только текущее, но и предшествующее состояние среды. Одним из параметров, позволяющим охарактеризовать тепловой режим среды за период с момента перехода температуры воздуха через отметку 0 °C до начала той или иной фазы, является среднесуточная сумма положительных температур воздуха. В период исследований 2020 г. она впервые была отмечена 1 апреля, однако начало роста исследуемых видов пришлось лишь на 18 мая (*V. opulus*) и 1 июня (*V. lantana*) при среднесуточной сумме положительных температур 187 и 308 °C соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Температурный режим в день начала роста побегов у видов *Viburnum*
Temperature regime on the start date of shoot growth in *Viburnum* species

| Вид | Дата | СТ, °C | СПТ, °C | САТ, °C | СЭТ, °C | Количество суток с СТ выше +10 °C |
|------------------------|-----------|--------|---------|---------|---------|-----------------------------------|
| <i>Viburnum opulus</i> | 18–21 мая | 4,7 | 187 | 105 | 82 | 0 |
| <i>V. lantana</i> | 1 июня | 8,8 | 308 | 225 | 83 | 6 |

Примечание: СТ – среднесуточная температура; СПТ – сумма положительных температур; САТ – сумма активных температур; СЭТ – сумма эффективных температур.

Кроме того, потребность растений в тепле выражают среднесуточными суммами активных и эффективных температур. В фенологии растений среднесуточная сумма активных температур – это средняя за сутки температура воздуха, выше биологического минимума начала развития растения. Как правило, древесное растение начинает развиваться только при определенном уровне тепла – если среднесуточная температура воздуха превышает биологический минимум, который составляет для древесных растений, по мнению многих авторов, +5 °C [13]. В год исследования переход среднесуточной температуры воздуха через отметку +5 °C пришелся на 7 апреля, а для начала роста побегов *V. opulus* и *V. lantana* потребовались среднесуточные суммы активных температур 105 и 225 °C соответственно.

Выявленные значения позволили вычислить сумму эффективных температур (сумму среднесуточных температур, уменьшенных на значение биологического минимума), необходимую для начала роста. Оказалось, что суммы эффективных температур для исследуемых видов практически равны (82 и 83 °С для *V. opulus* и *V. lantana* соответственно). Разница в 11 дн. в наступлении начала роста объясняется неодинаковой реакцией растений на переход суммы среднесуточных температур через отметку +10 °С: *V. opulus* начал рост без перехода этой отметки, а интродуцированному виду *V. lantana* потребовалось несколько дней (с 25 по 30 мая) со среднесуточной температурой выше 10 °С, что, вероятно, и стало основным фактором, воздействующим на начало роста. Установленное влияние температурного режима воздуха предшествующего периода на начало роста вегетативных органов лиственных деревьев не противоречит выводам других авторов [1, 7, 13, 20].

Максимальный среднесуточный прирост побегов наблюдался у *V. opulus* 5–10 июня, а у *V. lantana* – спустя 10 сут. При этом величина максимального суточного прироста побегов у разных видов также варьировала в широких пределах (табл. 3): наибольшее значение (7,5 мм/сут.) обнаружено у *V. lantana*, у *V. opulus* этот показатель меньше на 30 % (5,8 мм/сут.).

Обнаружено, что требовательность изученных видов растений к температуре воздуха в период кульминации роста определяется в том числе и биологическими особенностями вида. Так, кульминация прироста побегов при температуре воздуха +19,6 °С зафиксирована у *V. opulus*, у *V. lantana* – при температуре на 4,4 °С выше. Авторы [16] также отмечают зависимость сроков кульминации прироста побегов различных видов растений от температурного режима окружающей среды. По нашим данным, к этому времени сумма среднесуточных температур повышается до 606–730 °С.

Сравнивая динамику роста, можно заметить сходство по этому показателю только до 15 июня. Далее интенсивность роста побегов *V. opulus* продолжала неуклонно уменьшаться, а у *V. lantana* следовала вторая стадия прироста. Подобная стадийность роста вполне объясняется динамикой температуры воздуха: 10–15 июня она снижалась, а с 16 июня начала резко увеличиваться (рис. 3). Изменения в сроках начала и окончания роста побегов отражались и на длительности их формирования. Наиболее продолжительный рост отмечен для *V. opulus* (30 сут.), а наименьший – для *V. lantana* (26 сут.) (табл. 3).

Таблица 3

Характеристики прироста побегов у видов *Viburnum*
Characteristics of shoot gain in *Viburnum* species

| Вид | Максимальный суточный прирост, мм | Годичный прирост, мм | Продолжительность роста, сут. |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| <i>Viburnum opulus</i> | 5,8 | 75±15 | 30±4 |
| <i>V. lantana</i> | 7,5 | 100±26 | 26±3 |

Ранние сроки прекращения роста побегов характерны для *V. opulus* (19 июня), у *V. lantana* их рост заканчивался на 7 сут. позже (26 июня). Во время прекращения формирования побегов среднесуточная температура воздуха оставалась вполне благоприятной: +19,6...24,0 °С. Следовательно, для обоих изучаемых видов рода *Viburnum* тепла вполне достаточно для завершения годичного цикла развития вегетативных почек.

Определенная изменчивость в продолжительности и интенсивности роста побегов привела к соответствующим изменениям годичного прироста (табл. 3). Наиболее длинные побеги (101 мм) формируются у *V. lantana*, у *V. opulus* этот показатель составил 75 мм. Анализ результатов исследований свидетельствует о том, что величина годичного прироста побегов обуславливается в первую очередь интенсивностью, а не продолжительностью роста. Так, длина побегов *V. lantana* больше, чем у *V. opulus*, на 35 %. При этом скорость роста у первого на 30 % выше, а продолжительность роста на 4 сут. меньше, чем у второго. Аналогичный вывод в отношении интродуцированных лиственных деревьев сделан и другими исследователями [24]. На рис. 4 показана сезонная динамика роста побегов исследуемых видов, выявленная методом цифрового сканирования.

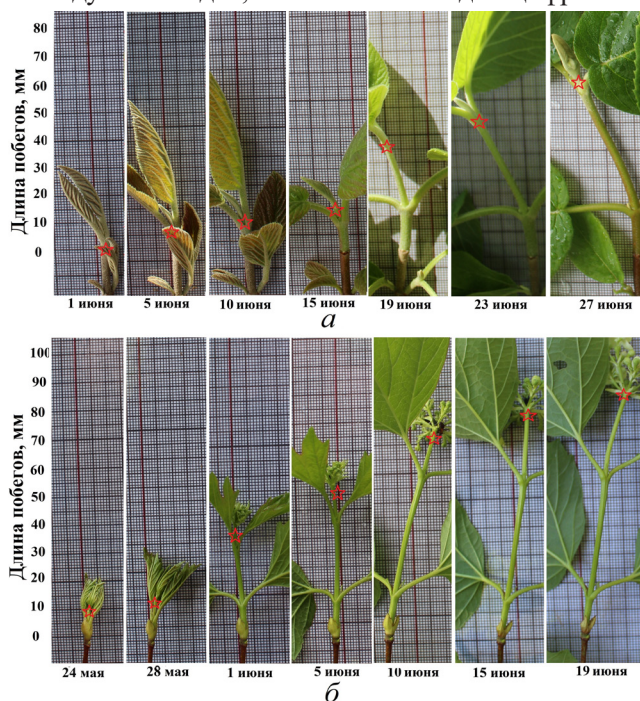


Рис. 4. Сезонная динамика роста побегов у видов *Viburnum*: а – *V. lantana*; б – *V. opulus*. Звездочкой обозначен конец прироста на момент сканирования

Fig. 4. Seasonal dynamics of shoot growth in *Viburnum* species: а – *V. lantana*; б – *V. opulus*. Star marks the growth end at the scanning time

Выяснилось, что между анализируемыми показателями и параметрами среды существует линейная корреляция. Корреляция экологических факторов и динамики приростов представлена в табл. 4. Влияние температуры воздуха на интенсивность роста побегов в течение всего периода роста прослеживается у *V. lantana* (см. рис. 3). У *V. opulus* такая зависимость наблюдалась только до момента кульминации прироста. Влажность воздуха оказывала существенное воздействие на интенсивность роста побегов у *V. opulus* и менее заметное – у *V. lantana*. Скорость роста побегов *V. opulus* положительно коррелировала с динамикой атмосферных осадков, а с солнечной радиацией – отрицательно. Последнее может свидетельствовать о том, что данный подлесочный вид относится к экологической группе сциофитов.

Таблица 4

Корреляционные показатели прироста побегов у видов *Viburnum*
Correlation indicators of shoot gain in *Viburnum* species

| Фактор среды | <i>Viburnum opulus</i> | | | <i>Viburnum lantana</i> | | |
|---------------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------|---------------|
| | r | t _{St} | Теснота связи | r | t _{St} | Теснота связи |
| Температура воздуха | +0,44 | 0,05 | Умеренная | +0,90 | 0,60 | Очень высокая |
| Влажность воздуха | +0,85 | 2,70 | Высокая | +0,30 | 6,90 | Умеренная |
| Атмосферные осадки | +0,60 | 0,01 | Высокая | +0,11 | 0,03 | Слабая |
| Солнечная радиация | -0,60 | 4,60 | Заметная обратная | +0,11 | 3,70 | Слабая |

Исследователи [23] склонны полагать, что зимостойкость растений зависит главным образом от сроков начала и окончания, продолжительности и интенсивности ростовых процессов, а раннее начало и окончание роста побегов, как правило, обеспечивают повышение зимостойкости. Наоборот, растения, поздно начинающие и заканчивающие рост, плохо переносят суровые условия перезимовки [22]. По нашим данным, формирование побегов у *V. opulus* началось на 11 сут. и заканчивалось на 7 сут. раньше, чем у *V. lantana*. Таким образом, местный вид *V. opulus* лучше адаптирован к суровым условиям таежной зоны. Обмерзание побегов у исследуемых видов не наблюдалось.

Развитие растений. Проведенные исследования позволили установить, что ритмика сезонного развития видов имеет свои специфические особенности и отличия (табл. 5). Статистическая обработка материалов показала незначительную и, как правило, не превышающую 3–5 сут. ошибку средней многолетней величины фенодат. Лишь у 4 фенодат она достигает 6–10 сут. При этом точность опыта (погрешность) во всех случаях не превышала 5 %. Вариабельность фенодат у двух видов весьма схожа. Чаще всего среднее квадратическое отклонение составляет от 3 до 5 сут., редко повышаясь до 8–10 сут. Авторы [3] отмечают снижение погодичной вариабельности фенодат с повышением уровня адаптированности интродуцентов к новым климатическим условиям. Изучая развитие различных видов древесных растений в Белоруссии, Н.В. Шкутко [15] обнаружил, что погодичная изменчивость сроков начала тех или иных фенофаз лиственных деревьев может варьировать даже в гораздо больших пределах – от 12 до 27 сут. Результаты цифрового сканирования развития *V. lantana* представлены на рис. 5.

Авторы исследований [3, 7, 8, 21, 24] убедительно показали, что особенности развития различных видов растений обусловлены их неодинаковой требовательностью к экологическим факторам. Поэтому, определив диапазон толерантности растений к экологическим факторам, можно судить о степени адаптации вида к новым условиям местообитания. При анализе состояния среды во время начала фенофаз обнаружена сильная погодичная вариабельность значений относительной влажности воздуха, количества атмосферных осадков и суммарной солнечной радиации (табл. 6). Реакция растений на температурный режим воздуха в момент наступления очередной фенофазы была довольно стабильной и отличалась у исследуемых видов.

Таблица 5

Статистические показатели сезонного развития видов *Viburnum*
Statistical indicators of seasonal development of *Viburnum* species

| Фенофаза | Статистические показатели | <i>Viburnum opulus</i> | <i>Viburnum lantana</i> | t_{St} |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|-----------|
| Набухание почек | $M \pm m_M$ | 26,04±2,29 | 15,05±1,1 | 11,8>4 |
| | σ | 9,45 | 4,3 | |
| Раскрывание почек | $M \pm m_M$ | 6,05±2,10 | 21,05±1,7 | 5,55>4 |
| | σ | 8,38 | 6,6 | |
| Начало роста побегов | $M \pm m_M$ | 20,05±1,58 | 30,05±1,6 | 4,44>4 |
| | σ | 6,31 | 5,7 | |
| Окончание роста побегов | $M \pm m_M$ | 18,06±5,5 | 26,06±1,5 | 3,86>3 |
| | σ | 6,60 | 5,8 | |
| Начало развертывания листьев | $M \pm m_M$ | 26,05±1,13 | 27,05±2,4 | 0,38<1 |
| | σ | 4,06 | 9,1 | |
| Полное облиствление | $M \pm m_M$ | 21,06±1,14 | 19,06±2,2 | 2,48>1,96 |
| | σ | 4,40 | 5,9 | |
| Начало цветения | $M \pm m_M$ | 28,06±1,20 | 17,06±1,2 | 6,47>4 |
| | σ | 5,00 | 3,5 | |
| Конец цветения | $M \pm m_M$ | 8,07±1,80 | 25,06±1,5 | 5,55>4 |
| | σ | 7,00 | 5,5 | |
| Начало образования плодов | $M \pm m_M$ | 10,06±1,30 | 26,06±1,1 | 9,41>4 |
| | σ | 5,20 | 3,00 | |
| Начало созревания плодов | $M \pm m_M$ | 23,07±2,70 | 5,09±1,2 | 14,92>4 |
| | σ | 10,00 | 3,5 | |
| Массовое созревание плодов | $M \pm m_M$ | 31,07±1,90 | 15,09±1,6 | 7,45>4 |
| | σ | 5,70 | 5,4 | |
| Опадание плодов | $M \pm m_M$ | 19,09±1,90 | 9,11±2,2 | 3,80>3 |
| | σ | 3,90 | 6,4 | |
| Начало окрашивания листьев | $M \pm m_M$ | 10,09±1,20 | 5,10±1,6 | 15,00>4 |
| | σ | 5,00 | 5,7 | |
| Полное изменение окраса листьев | $M \pm m_M$ | 26,09±3,90 | 15,10±1,2 | 4,66>4 |
| | σ | 7,70 | 3,5 | |
| Начало опадения листьев | $M \pm m_M$ | 27,09±2,70 | 5,11±2,2 | 14,08>4 |
| | σ | 10,00 | 5,9 | |
| Конец опадения листьев | $M \pm m_M$ | 5,10±4,40 | 15,11±1,5 | 5,94>4 |
| | σ | 8,80 | 5,8 | |

Примечание: M – средняя фенодата, сут.; m_M – ошибка средней фенодаты, сут.; σ – среднеквадратическое отклонение фенодаты, сут.

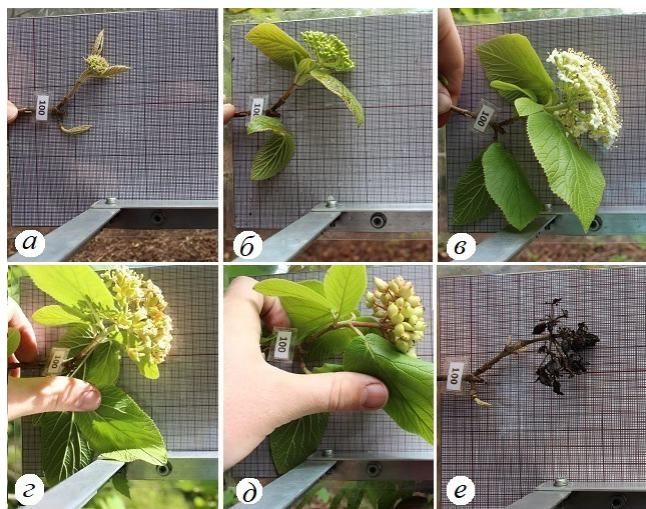


Рис. 5. Сезонное развитие *Viburnum lantana*: а – начало облиствения (25.05.20); б – конец облиствения и бутонизация (05.06.20); в – начало цветения (10.06.20); г – конец цветения (19.06.20); д – процесс созревания плодов (30.07.20); е – конец листопада (01.11.20)

Fig. 5. Seasonal development of *Viburnum lantana*: а – beginning of foliage (25.05.20); б – end of foliage and budding (05.06.20); в – beginning of flowering (10.06.20); г – end of flowering (19.06.20); д – fruit ripening (30.07.20); е – end of leaf fall (01.11.20)

Таблица 6

Среднемноголетние суточные значения экологических факторов во время прохождения фенофаз видами *Viburnum*
Long-term average annual daily values of environmental factors during the phenophases of *Viburnum* species

| Фенофаза | Параметр среды | <i>Viburnum opulus</i> | <i>Viburnum lantana</i> |
|-------------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| Набухание вегетативных почек | Т | 3 | 5 |
| | В | 62 | 68 |
| | О | 0,7 | 1,4 |
| Раскрытие вегетативных почек | Т | 6 | 7 |
| | В | 66 | 74 |
| | О | 1,0 | 2,0 |
| Начало роста побегов | Т | 7 | 11 |
| | В | 63 | 70 |
| | О | 1,2 | 3,3 |
| Окончание роста побегов | Т | 15 | 14 |
| | В | 65 | 61 |
| | О | 0,5 | 3,0 |
| Начало разворачивания листьев | Т | 9 | 10 |
| | В | 60 | 63 |
| | О | 2,5 | 2,0 |

Окончание табл. 6

| Фенофаза | Параметр среды | <i>Viburnum opulus</i> | <i>Viburnum lantana</i> |
|---------------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| Полное облиствление | T | 13 | 15 |
| | B | 60 | 66 |
| | O | 1,7 | 3,4 |
| Начало цветения | T | 14 | 13 |
| | B | 72 | 73 |
| | O | 0,8 | 1,6 |
| Конец цветения | T | 22,7 | 15,3 |
| | B | 70,8 | 74,0 |
| | O | 0,6 | 2,3 |
| Начало образования плодов | T | 14,7 | 16,8 |
| | B | 76 | 81 |
| | O | 1,8 | 4,5 |
| Начало созревания плодов | T | 16,5 | 13 |
| | B | 72 | 75 |
| | O | 1,8 | 2,1 |
| Массовое созревание плодов | T | 15 | 9 |
| | B | 75 | 78 |
| | O | 4,3 | 1,0 |
| Полное изменение окраса листьев | T | 13,9 | 6,5 |
| | B | 70 | 72 |
| | O | 1,6 | 2,0 |
| Конец опадения листьев | T | 11 | 3 |
| | B | 74 | 75 |
| | O | 1,2 | 1,5 |

Примечание: T – температура воздуха, °C; B – относительная влажность воздуха, %; O – количество атмосферных осадков, мм/сут.

Большинство фенофаз генеративного развития *V. opulus* протекало при более высокой температуре, чем у *V. lantana*. Так, у *V. opulus* цветение начиналось при +14,4 °C и заканчивалось при +22,7 °C, плоды начинали созревать при +16,5 °C, температуры оказались соответственно на 1,9; 2,6 и 2,5 °C выше, чем для тех же фаз *V. lantana*. Лишь начало образования плодов у *V. lantana* наблюдалось при температуре +16,8 °C, что на 2,1 °C выше, чем у *V. opulus*.

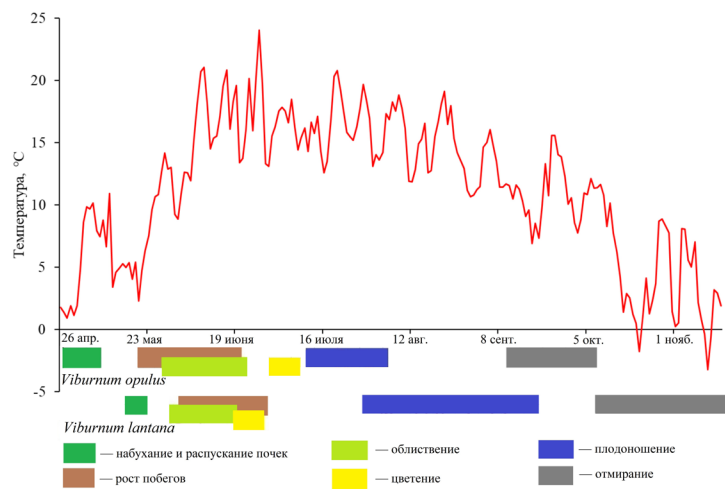
Таким образом, в связи с особенностями развития вегетативной и генеративной сфер изученные виды можно отнести к рано (*V. opulus*) и поздно (*V. lantana*) начинающим и заканчивающим развитие. Вид *V. opulus* менее требователен к температурному режиму воздуха в начале вегетационного периода по сравнению с *V. lantana*, однако заканчивает свое развитие при более теплой погоде, что удлиняет период его подготовки к зимнему покою. Вид, поздно заканчивающий развитие (*V. lantana*), нередко оказывается в крайне неблагоприятных погодных условиях рано наступающей зимы. Однако обмерзание побегов зимой у *V. lantana* отмечено не было. Этот вывод согласуется с мнением ряда исследователей [9, 10, 20].

Для того чтобы судить о направлении, форме и силе связи между экологическими факторами и сроками наступления фенофаз, был проведен корреляционный анализ. Оказалось, что степень корреляции может существенно меняться

в зависимости от биологии вида и специфики конкретной фенофазы. Результаты корреляционного анализа свидетельствуют об умеренном ускорении наступления всех фенофаз развития побегов у *V. opulus* с повышением температуры воздуха – теснота связи по шкале Чеддока прямая умеренная, $r = +0,4...0,5$. Для *V. lantana* данная зависимость прямая слабая, $r = +0,1...0,3$. При этом критерий t_{St} для большинства фенодат более 4, т. е. выводы обоснованы в 100 % случаев, и только для фазы начала разворачивания листьев критерий менее 1, т. е. различия недостоверны. Зависимость фенологического развития видов рода *Viburnum* от температуры воздуха представлена на рис. 6. Корреляцию динамики относительной влажности воздуха с количеством атмосферных осадков и фенодатами у изученных видов рода *Viburnum* установить не удалось.

Рис. 6. Феноспектр видов рода *Viburnum* и динамика среднесуточной температуры воздуха

Fig. 6. Phenospectrum of *Viburnum* species and dynamics of average daily air temperature



Комплексная оценка перспективности интродуцированного вида *V. lantana* в сопоставлении с аборигенным *V. opulus* позволила установить, что первый относится к высокоперспективным: 94 балла (табл. 7). Аналогичный вывод относительно данного вида, интродуцированного в зоны смешанных и хвойных лесов, сделан и другими исследователями [1, 2, 4, 14, 20].

Таблица 7

Оценка (в баллах) перспективности интродукции *Viburnum lantana*
Evaluation of the prospects (points) for the introduction of *Viburnum lantana*

| Степень ежегодного вызревания побегов | Зимостойкость | Сохранение габитуса | Побегообразовательная способность | Регулярность прироста осевых побегов | Способность к генеративному развитию | Возможность размножения в культуре | Итого |
|---------------------------------------|---------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------|
| 15 | 25 | 10 | 5 | 4 | 25 | 10 | 94 |

Заклучение

На основании проведенного исследования разработаны приемы неразрушающего цифрового сканирования органов древесных растений. Предложенное фотометрическое устройство позволило эффективно и без по-

вреждений фиксировать сезонную динамику растений. Анализ результатов оцифровки выявил закономерности роста и развития местного вида *Viburnum opulus* и интродуцированного в условия Карельского таежного района вида *V. lantana* в зависимости от воздействия метеорологических факторов. В ритмике сезонной динамики изученных видов обнаружены отличия, связанные с влиянием текущего и предшествующего состояния окружающей среды. Наибольшая зависимость наступления начала роста и большинства фенодат наблюдается от температуры воздуха. Установлено, что раннее начало и окончание вегетации свойственны *V. opulus*. Рост и развитие *V. lantana* происходят при более теплой температуре. *V. lantana* следует отнести к высокоперспективным интродуцентам и рекомендовать для введения в культуру ценнозны и озеленения населенных пунктов таежной зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Абрамчук А.В., Карпукхин М.Ю.* Калина в садово-парковом строительстве // Вестн. биотехнологии. 2019. № 4(21). С. 16.
Abramchuk A.V., Karpukhin M.Yu. Kalina in Landscape Gardening. *Bulletin of biotechnology*, 2019, no. 4(21), p. 16. (In Russ.).
2. *Акимов М.Ю., Макаров В.Н., Жбанова Е.В., Влазнева Л.Н., Масленников А.И.* Плоды калины перспективных сортов как ценный источник пищевых и биологически активных веществ // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2018. № 13. С. 603–607.
Akimov M.Yu., Makarov V.N., Zhbanova E.V., Vlazneva L.N., Maslennikov A.I. *Viburnum* Fruits of Promising Varieties as a Valuable Source of Food and Biologically Active Substances. *New and Unconventional Plants and Prospects for Their Use*. 2018, no. 13, pp. 603–607. (In Russ.).
3. *Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т.* Дендрология. М.: МГУЛ, 2003. 528 с.
Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrology*. Moscow, MGUL Publ., 2003. 528 p. (In Russ.).
4. *Ермаков М.А., Волкова О.Д., Хоциалова Л.И., Загуменикова Т.Н., Потанова А.В.* Изучение признаков форм и сортов растений калины обыкновенной (*Viburnum opulus* L.) в условиях Главного ботанического сада РАН // *Hortus Botanicus*. 2019. Т. 14. С. 328–337.
Ermakov M.A., Volkova O.D., Khotsialova L.I., Zagumennicova T.N., Potapova A.V. The Study of the Characteristics of the Forms and Varieties of (*Viburnum opulus* L.) Plants at the Main Botanical Garden of RAS. *Hortus Botanicus*, 2019, vol. 14, pp. 328–337. (In Russ.).
<https://doi.org/10.15393/j4.art.2019.6184>
5. *Зайцев Г.Н.* Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
Zaytsev G.N. *Mathematical Statistics in Experimental Botany*. Moscow, Nauka Publ., 1984. 424 p. (In Russ.).
6. *Иванов В.П., Марченко С.И., Зайцева Л.В., Иванов Ю.В.* Методологические аспекты определения биометрических параметров шишек сосны обыкновенной // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2012. № 1. С. 42–46.
Ivanov V.P., Marchenko S.I., Zaitseva L.V., Ivanov Yu.V. Methodological Aspects of Scots Pine Cones Biometrics Determination. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2012, no. 1, pp. 42–46. (In Russ.).
7. *Кищенко И.Т.* Влияние климатических факторов на сезонный рост деревьев лиственных лесобразующих видов в таежной зоне // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 1. С. 51–63.

Kishchenko I.T. The Impact of Climatic Factors on the Seasonal Growth of Deciduous Trees of the Forest-Forming Species in the Taiga Zone. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2017, no. 1, pp. 51–63. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.1.51>

8. Лапин П.И., Сиднева С.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. М., 1973. С. 7–68.

Lapin P.I., Sidneva S.V. Assessing the Prospects of Woody Plants Introduction Based on Visual Observations. *Experience of Woody Plant Introduction*. Moscow, 1973, pp. 7–68. (In Russ.).

9. Масленников А.И. Устойчивость сортов калины к действию абиотических факторов // Вестн. Мичурин. ГАУ. 2015. № 3. С. 97–100.

Maslennikov A.I. Resistance of *Viburnum* Varieties to the Action of Abiotic Factors. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, 2015, no. 3, pp. 97–100. (In Russ.).

10. Масленников А.И. Оценка максимальной морозостойкости сортов и форм рябины и калины // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. Т. 46. С. 220–222.

Maslennikov A.I. Estimation of Maximal Frost Resistance of Rowan and Viburnum Varieties and Forms. *Plodovodstvo i jagodovodstvo Rossii = Pomiculture and small fruits culture in Russia*, 2016, vol. 46, pp. 220–222. (In Russ.).

11. Минин А.А., Ананин А.А., Буйволлов Ю.А., Ларин Е.Г., Лебедев П.А., Поликарпова Н.В., Прокошева И.В., Руденко М.И., Сапельникова И.И., Федотова В.Г., Шуйская Е.А., Яковлева М.В., Янцер О.В. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2020. № 5(4). С. 89–110.

Minin A.A., Ananin A.A., Buyvolov Yu.A., Larin E.G., Lebedev P.A., Polikarpova N.V., Prokosheva I.V., Rudenko M.I., Sapelnikova I.I., Fedotova V.G., Shuyskaya E.A., Yakovleva M.V., Yantser O.V. Recommendations to Unify Phenological Observations in Russia. *Nature Conservation Research*, 2020, vol. 5(4), pp. 89–110. (In Russ.). <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2020.060>

12. Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 95 с.

Molchanov A.A., Smirnov V.V. *Methods of Studying the Growth of Woody Plants*. Moscow, Nauka Publ., 1967. 95 p. (In Russ.).

13. Мухаметова С.В. Метеорологические условия теплого периода на территории Ботанического сада-института ПГТУ // Hortus botanicus. 2022. Т. 17. С. 90–101.

Mukhametova S.V. Meteorological Conditions of Warm Period in the Territory of the Botanical Garden-Institute of VSUT. *Hortus Botanicus*, 2022, vol. 17, pp. 90–101. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j4.art.2022.8146>

14. Софронов А.П., Фирсова С.В. Интродукция калины обыкновенной в Кировской области // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 6(67). С. 79–82.

Sofronov A.P., Firsova S.V. Introduction of Viburnum in Kirov Region. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*, 2018, no. 6(67), pp. 79–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.79-82>

15. Шкютко Н.В. Хвойные Белоруссии: Эколого-биологические исследования. Минск: Навука і тэхніка, 1991. 263 с.

Shkutko N.V. *Conifers of Belarus: Ecological and Biological Studies*. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1991. 263 p. (In Russ.).

16. Augspurger C.K. Spring 2007 Warmth and Frost: Phenology, Damage and Refoliation in a Temperate Deciduous Forest. *Functional Ecology*, 2009, vol. 23, iss. 6, pp. 1031–1039. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01587.x>

17. Cheung P.K., Fung C.K.W., Jim C.Y. Seasonal and Meteorological Effects on the Cooling Magnitude of Trees in Subtropical Climate. *Building and Environment*, 2020, vol. 177, art. 106911. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106911>
18. Gloning P., Estrella N., Menzel A. The Impacts of Climate Change on the Winter Hardiness Zones of Woody Plants in Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 2013, vol. 113, pp. 683–695. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0817-5>
19. Henke M., Huckemann S., Kurth W., Sloboda B. Reconstructing Leaf Growth Based on Non-Destructive Digitizing and Low-Parametric Shape Evolution for Plant Modelling over a Growth Cycle. *Silva Fennica*, 2014, vol. 48, no. 2, art. 1019. <https://doi.org/10.14214/sf.1019>
20. Kollmann J., Grubb P.J. *Viburnum lantana* L. and *Viburnum opulus* L. (*V. lobatum* Lam., *Opulus vulgaris* Borkh.). *Journal of Ecology*, 2002, vol. 90, iss. 6, pp. 1044–1070. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2002.00724.x>
21. Meili N., Manoli G., Burlando P., Carmeliet J., Chow W.T.L., Coutts A.M., Roth M., Velasco E., Vivoni E.R., Fatichi S. Tree Effects on Urban Microclimate: Diurnal, Seasonal, and Climatic Temperature Differences Explained by Separating Radiation, Evapotranspiration, and Roughness Effects. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, vol. 58, art. 126970. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126970>
22. Nilsson O. Winter Dormancy in Trees. *Current Biology*, 2022, vol. 32, iss. 12, pp. R630–R634. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.04.011>
23. Szalay L., György Z., Tóth M. Frost Hardiness of Apple (*Malus X domestica*) Flowers in Different Phenological Phases. *Scientia Horticulturae*, 2019, vol. 253, pp. 309–315. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.055>
24. Wang Z., Zhang X., Zhang J., Chhin S. Effects of Stand Factors on Tree Growth of Chinese Fir in the Subtropics of China Depends on Climate Conditions from Predictions of a Deep Learning Algorithm: A Long-Term Spacing Trial. *Forest Ecology and Management*, 2022, vol. 520, art. 120363. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120363>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article