

БОТАНИКА, ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Оригинальная научная статья
УДК 57.063.6: 581.4: 582.476
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-6-12>



**Некоторые особенности систем побегов
у представителей трибы Sequoieae, культивируемых в России**

Дмитрий Леонидович Матюхин

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Леонидович Матюхин; d.matukhin@rgau-msha.ru

Аннотация. В статье рассмотрены приросты побегов у трех существующих в настоящее время видов, входящих в трибу секвойевых: *Metasequoia glyptostroboides*, *Sequoia sempervirens* и *Sequoiadendron giganteum*, структура которых изучена недостаточно. Материал был собран в коллекциях ботанических садов Черноморского побережья Кавказа и Крыма. За один продолжительный период роста у всех трех видов образуются системы побегов разной степени сложности: от неразветвленных, состоящих из одного элементарного, до силлептически разветвленных многоосных систем. У *S. giganteum* системы побегов, образующиеся за один период внепочечного роста, сходны с другими кипарисовыми, и частично – с сосновыми и подокарповыми. У *Metasequoia glyptostroboides* и *Sequoia sempervirens* силлептически разветвленные системы дифференцированы на несколько вариантов: на ортотропных побегах в верхней части прироста силлептически образуются плагиотропные ветви, которые продолжают рост после остановки ортотропной части системы побегов. Боковые силлептические побеги плагиотропные продолжают ветвление до боковых побегов второго порядка. Подобные структуры известны у *Araucaria* и ископаемых архаичных хвойных. У *M. glyptostroboides* и *S. sempervirens* имеются филломорфные ветви такого же облика, что описаны для *Tsuga canadensis*. Для этих видов характерны также почки, образующиеся сериально ниже силлептически отрастающего побега. У *M. glyptostroboides* филломорфные ветви ежегодно опадают, их многолетние основания формируют нарастающий базисимподиально укороченный побег. Почка возобновления в отличие от *Taxodium distichum* не погружена под кору.

Ключевые слова: побеги, приросты, брахибласты, филломорфные ветви, моноритмические системы побегов.

Для цитирования: Матюхин Д.Л. Некоторые особенности систем побегов у представителей трибы Sequoieae, культивируемых в России // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 6-12. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-6-12>

© Матюхин Д.Л., 2023

BOTANY, PLANT PHYSIOLOGY

Original article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-6-12>



**Some Features of the Shoot Systems in Representatives
of the Tribe Sequoieae, Cultivated in Russia**

Dmitriy L. Matyukhin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Dmitriy L. Matyukhin, d.matukhin@rgau-msha.ru

Abstract. The article focuses on the growth rates of three extant species belonging to the tribe Sequoieae: *Metasequoia glyptostroboides*, *Sequoia sempervirens* and *Sequoiadendron giganteum*. The material was collected from botanical garden collections on the Black Sea coast of the Caucasus and Crimea. During a long growing season, all three species form shoot systems of varying complexity: from unbranched shoots consisting of a single elementary shoot to sylleptically branched multi-axial systems. In *S. giganteum*, the shoot systems formed during an extra-bud growth period are similar to those of other Cupressaceae species and partly to those of Pinaceae. In *Metasequoia glyptostroboides* and *Sequoia sempervirens*, sylleptically branched shoot systems are differentiated into several variants: on orthotropic shoots in the upper part of the growth, plagiotropic branches are sylleptic and continue to grow after the orthotropic part of the shoot system has stopped growing. Plagiotropic sylleptic lateral shoots continue to branch into second-order lateral shoots. Similar structures

are found in *Araucaria* and archaic fossil conifers. *M. glyptostroboides* and *S. sempervirens* have phyllomorphic branches of the same appearance as those described for *Tsuga canadensis*. Plagiotropic lateral sylleptic shoots continue to branch into second-order lateral shoots. Similar structures are known in *Araucaria* and fossil archaic conifers. *M. glyptostroboides* and *S. sempervirens* have phyllomorphic branches of the same appearance as described for *Tsuga canadensis*. These species are also characterized by buds formed serially below the sylleptically growing shoot. In *M. glyptostroboides*, the phyllomorphic branches fall off annually, and their perennial bases form a growing, basisympodially shortened shoot. The renewal bud is not located under the bark, as in *Taxodium distichum*.

Keywords: shoots, growths, brachyblasts, phyllomorphic branches, monorhythmic shoot systems

For citation: Matyukhin D.L. Some Features of the Shoot Systems in Representatives of the Tribe Sequoieae, Cultivated in Russia. Timiryazev Biological Journal. 2023;3:6-12. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-6-12> (In Rus.)

© Matyukhin D.L., 2023

Введение

В состав трибы секвойевых (*Sequoieae*) входят три монотипных реликтовых рода *Metasequoia* S. Miki, *Sequoia* Endlicher, *Sequoiadendron* J. Buchholz. Изучение и понимание особенностей роста самых больших современных древесных растений [1] представляют значительный интерес. Три современных вида трибы дают возможность выделить и оценить некоторые приспособления у побегов растений группы, помогающие видам адаптироваться к конкурентным условиям современных субтропических лесов северного полушария. Биология и способы размножения этих важных для лесного садово-паркового хозяйства растений находятся в центре внимания исследователей [2-16]. Цель исследований: выявить и обсудить особенности роста побегов у растений трибы *Sequoieae*, культивируемых в России.

Методика исследований

На наш взгляд, для корректного сравнения в качестве единицы структуры следует рассматривать не побег как универсальную единицу тела растения [17], а системы побегов, возникающие за один период внепочечного роста. Эти элементы Л.Е. Гатцук в неопубликованных материалах своей диссертации (1970) назвала системами элементарных моноритмических побегов [18]. Данные системы могут быть неразветвленными и тождественными элементарным побегам, а могут состоять из многих осей, формирующихся за счет силлептического ветвления, и тогда они соответствуют модулям в исходном смысле: система побегов, отрастающая за период роста [19]. В понимании Томлинсона [20] сходная структура называется единицей расширения (units of extension). Предлагается их назвать моноритмическими системами побегов (МСП). У рассматриваемых видов существуют два варианта границ таких структур. В случае прерывистого роста границами МСП служат почечные чешуи (у *Metasequoia* и *Sequoia*), зоны укороченных листьев и междоузлий (у *Sequoiadendron* без почечных чешуй, почки открытые) [21].

Материал для исследований был собран в 1986-2014 гг. в коллекциях следующих ботанических садов СССР и Российской Федерации:

в Батумском ботаническом саду (1984-1986, 1989 гг.); в Фондовой оранжерее и Дендрарии Главного ботанического сада РАН (1985-2014 гг.); в оранжерее Ботанического института РАН (1986, 2000, 2003 гг.); в Государственном Никитском ботаническом саду (1986, 2016 гг.); в Ботаническом саду и Дендрарии МСХА (1988-2015 гг.); в Сочинском дендрарии (1988-2014 гг.); в парке «Южные культуры» (1988-2014 гг.); в Субтропическом ботаническом саду Кубани (2000-2014 гг.) [22].

Моноритмические системы побегов (далее – МСП) – это системы побегов, возникающие за один период внепочечного роста. Эти системы могут быть неразветвленными, и тогда они соответствуют элементарным побегам, а могут состоять из многих побегов, формирующихся за счет силлептического ветвления.

Анализировались все обнаруженные варианты строения МСП. Они различаются как в пределах отдельного растения, так и у разных экземпляров, существовавших и развивавшихся в различных условиях. Поэтому их полноценной характеристикой будет множество, состоящее из всех установленных вариантов структуры приростов как элементов такого множества в пределах родов.

Ростовыми побегами здесь и ниже будем называть побеги, у которых функция захвата и освоения пространства является основной и доминирует над функцией воздушного питания (фотосинтез и связанные с ним газообмен и транспирация). Побеги, основной функцией которых является обеспечение фотосинтеза, будем называть трофическими. Структурно существенных различий между ростовыми и трофическими побегами нет; они различаются функционально, по размерам и по соотношению стебля и листьев.

Результаты и их обсуждение

Metasequoia. Для рода установлено 6 типов МСП, представленных силлептически ветвящимися до боковых ветвей второго порядка либо неразветвленными элементарными побегами (рис. 1). Рост прерывистый. Ростовые побеги радиально симметричные, ортотропные, приподнимающиеся или плагиотропные. Неразветвленные МСП представлены удлинёнными побегами с верхушечной почкой (рис. 1.1), характерны для ювенильных особей в условиях средней освещённости. С возрастом осевая часть становится многолетней. Другой вариант одноосной МСП лишен верхушечной почки (рис. 1.2) и характерен для затененной части кроны. Мощные ростовые побеги способны к силлептическому ветвлению, образуют боковые, многолетние впоследствии, побеги следующего порядка ветвления. Трофические побеги представлены брахибластами (рис. 1.6). Они имеют оформленную боковую почку в базальной части побега. Билатеральные листостебельные брахибласты образуются либо на растущих удлинённых побегах в результате силлептического ветвления (рис. 1.3-1.5), либо из зимовавших боковых почек на многолетних ростовых побегах (рис. 1.6). При отрастании верхушка брахибласта полностью расходится, не образуя верхушечной почки. Побег живет в течение одного вегетационного периода, затем отмирает и опадает с образованием отделительного слоя и зимующей почки в пазухе почечной чешуи. Эти побеги сходны с филломорфными ветвями *Sequoia* и *Tsuga* [22], но имеют детерминированный рост и живут в течение одного сезона.

Билатеральносимметричные укороченные побеги часто входят в состав разветвленных филломорфных ветвей, подобных дваждыперистым листьям (рис. 1.4). Они опадают целиком, оставляя веточные рубцы. При этом возможно опадение разветвленной системы побегов не только целиком подобно рассеченному простому листу, но и по частям: сначала опадают отдельные брахибласты, затем – оси, на которых они располагались, подобно рахисам дваждыперистосложных листьев. Боковые почки яйцевидно-конические, развиваются либо в пазухах листьев, либо сериально по отношению к боковым побегам – как ростовым, так и брахибластам (рис. 1.3, 1.4). На ростовых побегах расположены рассеянно, на брахибластах – компактно: в пазухе одной из верхней пары почечных чешуй [25]. Стебли – с приросшими основаниями листьев, голые. Листья супротивные, двух формаций. Низовая формация представлена почечными чешуями и зелеными катафиллами на ростовых побегах. Листья срединной формации, короткочерешковые или почти сидячие, на укороченных побегах супротивные и двурядные [21].

Sequoia. Для рода установлено 5 типов МСП, представленных силлептически ветвящимися до боковых ветвей второго порядка либо неразветвленными элементарными побегами (рис. 2). Рост непрерывный у ростовых побегов низких порядков ветвления и прерывистый – у трофических. На ортотропных ростовых побегах наблюдается прерывистый рост с образованием боковых силлептических побегов первого порядка. Ростовые побеги радиально симметричные, ортотропные, приподнимающиеся или плагиотропные (рис. 2.1). Трофические побеги силлептические и пролептические, представленные билатеральными филломорфными ветвями с верхушечными почками (рис. 2.2), либо верхушечные почки полностью расходуются (рис. 2.3). Их специализация недетерминирована, и при изменении условий побеги могут становиться ортотропными и радиально-симметричными. Филломорфные ветви могут нарастать в течение нескольких лет, быть разветвленными или неразветвленными [25]. Мощные ростовые побеги способны к силлептическому ветвлению, образуют боковые, многолетние впоследствии, побеги следующего порядка ветвления (рис. 2.4, 2.5). Отличия ювенильных побегов от взрослых невелики.

Почки закрытые, яйцевидные или яйцевидно-конические. Почечные чешуи килеватые. Осмоление отсутствует. Часто встречаются сериальные почки, реже – сериальные силлептические побеги. Боковые почки и силлептические побеги в составе МСП расположены рассеянно по всей длине побега, очень редко – компактно в верхушечной ложной мутовке. Поверхность стебля – с приросшими основаниями листьев, голая.

Листья низовой формации представлены почечными чешуями. Листья срединной формации игловидные, с низбегающими основаниями. Явный черешок отсутствует, его заменяет поворот пластинки [21].

Sequoiadendron. Для рода установлено 5 типов МСП (рис. 3), представленных силлептически ветвящимися до третьего порядка (рис. 3.2-3.4) либо неразветвленными элементарными побегами (рис. 3.1, 3.5). Рост непрерывный. Ростовые побеги радиально-симметричные, ортотропные или приподнимающиеся. Трофические побеги косо вверх восходящие. Ювенильные побеги не изучены. Специализированных укороченных побегов и филломорфных ветвей нет.

Боковые побеги возникают в результате силлептического ветвления. На мощных ростовых побегах образуются заметные гипоподии, длина листьев на протяжении прироста одинакова. У менее развитых трофических МСП наблюдается увеличение листа к середине прироста с последующим уменьшением его размеров к верхушке. Одновременный рост боковых и материнского побегов сохраняется, боковые побеги силлептические, гипоподий является невыраженным. Боковые побеги распределяются по длине прироста равномерно, компактных зон ветвления нет. Стебли с приросшими основаниями листьев – без опушения. Почки открытые.

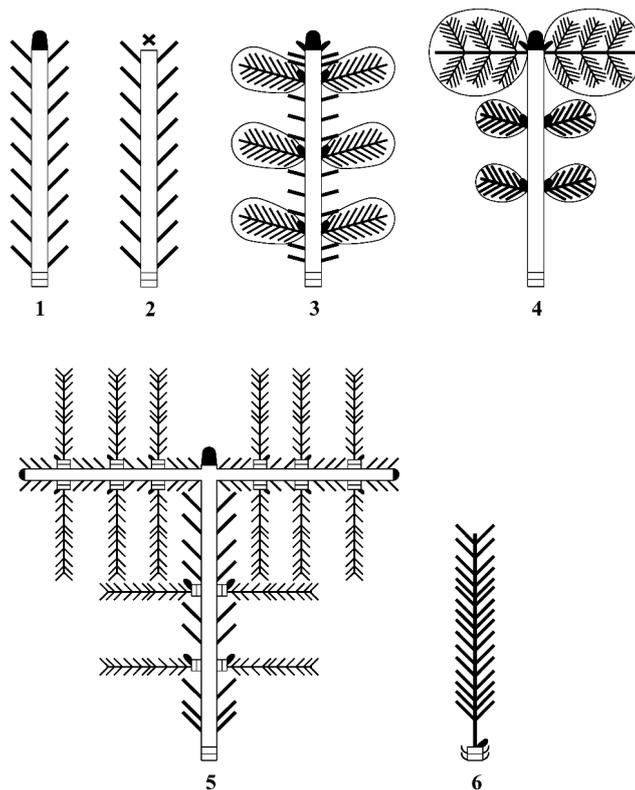


Рис. 1. Организация МСП у *Metasequoia glyptostroboides*:

- 1 – неразветвленная МСП с закрытой верхушечной почкой;
- 2 – неразветвленная МСП с отмершей верхушечной почкой;
- 3 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого порядка, представленными однолетними брахибластами с сериальными почками возобновления;
- 4 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого и второго порядков, представленными однолетними структурами;
- 5 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого и второго порядков, однолетними и зимующими;
- 6 – брахибласт, в дальнейшем нарастающий базисимподиально

Fig. 1. Organization of monorhythmic shoot systems (MSS) in *Metasequoia glyptostroboides*

- 1 – unbranched MSS with a closed apical bud; 2 – unbranched MSS with a dead apical bud;
- 3 – sylleptically branched MSS with the first-order lateral shoots represented by annual brachyblasts with serial buds of renewal;
- 4 – sylleptically branched MSS with the first- and second- order lateral shoots represented by annual structures;
- 5 – sylleptically branched MSS with the first- and second- order lateral shoots, annual and wintering;
- 6 – brachyblast, further growing basisympodially

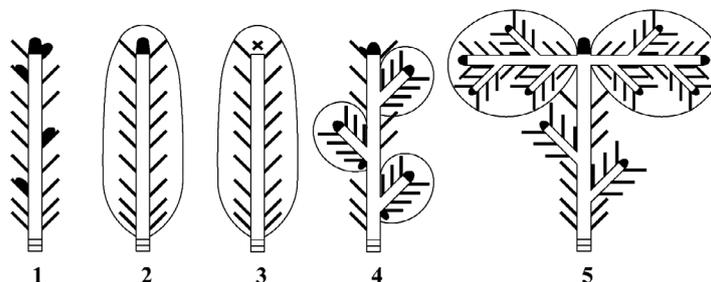


Рис. 2. Организация МСП у *Sequoia sempervirens*:

- 1 – неразветвленный побег с боковыми почками, распределенными по длине побега;
- 2 – неразветвленный плоский побег с верхушечной почкой;
- 3 – неразветвленный плоский побег с отмершей верхушечной почкой;
- 4 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого порядка;
- 5 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого и второго порядков

Fig. 2. Organization of MSSs in *Sequoia sempervirens*

- 1 – unbranched shoot with lateral buds distributed along the length of the shoot; 2 – unbranched flat shoot with an apical bud;
- 3 – unbranched flat shoot with a dead apical bud; 4 – sylleptically branched MSS with the first-order lateral shoots;
- 5 – sylleptically branched SME with the first- and second-order lateral shoots

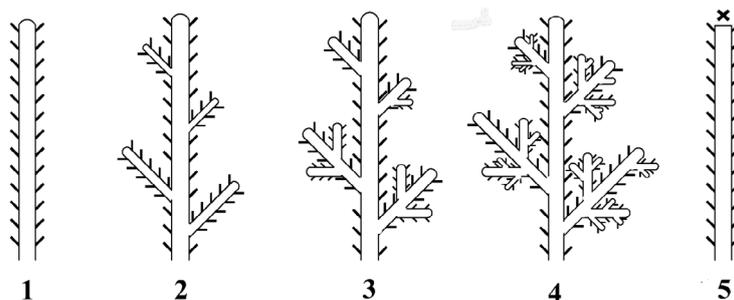


Рис. 3. Организация МСП у *Sequoiadendron giganteum*:

- 1 – неразветвленный побег с открытой верхушечной почкой;
- 2 – силлептически разветвленная МСП с боковыми побегами первого порядка;
- 3 – то же с боковыми побегами первого и второго порядков;
- 4 – то же с боковыми побегами первого, второго и третьего порядков;
- 5 – неразветвленный побег с отмершей верхушечной почкой. Все почки открытые

Fig. 3. Organisation of MSSs in *Sequoiadendron giganteum*

- 1 – unbranched shoot with an open apical bud; 2 – sylleptically branched MSS with the first-order lateral shoots;
- 3 – the same with the first- and second-order lateral shoots; 4 – the same with the first-, second- and third-order lateral shoots;
- 5 – unbranched shoot with a dead apical bud. All the buds are open

Листья срединной формации чешуевидные, с приросшим к стеблю низбегающим основанием. Листья низовой формации отсутствуют [21].

Системы моноритмических побегов у *Sequoiadendron giganteum* представляют собой набор структур, весьма распространенных у Cupressaceae и у других семейств хвойных. Сходные наборы МСП имеются у родов *Callitris*, *Chamaecyparis*, *Cryptomeria*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Taiwania* (Cupressaceae), *Dacrydium* (Podocarpaceae); с учетом меньшего порядка ветвления – у *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Tsuga*, а без укороченных побегов – еще и у *Cedrus*, *Larix*, *Pseudolarix* (Pinaceae).

Таким образом, можно предполагать, что такие системы роста являются исходными для хвойных. В рассматриваемой трибе именно такая организация моноритмических систем побегов также скорее всего является исходной. На архаичность побегов этого типа указывает наличие открытых почек: нет специализированных почечных чешуй, есть только чешуевидные зеленые листья.

У ортотропных МСП *Sequoia sempervirens* и *Metasequoia glyptostroboides* наблюдается образование плагиотропных силлептических боковых побегов и систем побегов. Ортотропная часть обладает прерывистым ростом, завершает его ко времени начала отрастания боковых силлептических побегов первого порядка ветвления, которые продолжают рост. МСП такого строения позволяют формировать незатененную новую ассимилирующую поверхность. Она обеспечивает максимальное использование светового потока.

У *M. glyptostroboides* и *S. sempervirens* имеются филломорфные ветви такого же облика, что описаны для *Tsuga canadensis* [24]. Для этих видов характерны также почки, образующиеся сериально, ниже силлептически отрастающего побега. У *M. glyptostroboides* филломорфные ветви ежегодно опадают, их многолетние основания формируют нарастающий базисимподиально укороченный побег. Почка возобновления в отличие от *Taxodium distichum* не погружена под кору.

Плагиотропные, силлептические, длительно растущие системы побегов, образующиеся у верхушек ортотропных побегов, характерны для архаичных хвойных из семейств Araucariaceae и Walchiaceae [20, 23]. Их наличие свидетельствует о росте в условиях безморозного климата с длительным вегетационным периодом. Они конвергентно сходны с различными группами растений архитектурных моделей Holtum, Corner, Tomlinson, Schoute, Massart, Cook, Rauh, Attims, Troll [24]. В климате с продолжительным холодным сезоном это же явление подразделяется на два сезона: в первый сезон отрастает вертикальная часть системы, а во второй – обратная, почти горизонтальная поверхность из боковых побегов.

Выводы

Моноритмические системы побегов у трех видов трибы Sequoieae существенно отличаются. У *Sequoiadendron giganteum* наиболее архаичный набор вариантов, мало отличающийся от структур, сформировавшихся у хвойных еще в палеозое. У *Sequoia sempervirens* побеги дифференцированы с формированием продвинутых филломорфных ветвей и закрытых почек с кожистыми почечными чешуями. У *Metasequoia glyptostroboides* оформились опадающие в конце вегетационного периода филломорфные ветви и базисимподиально нарастающие брахибласты. Структуры, характерные для трибы, сформировались в безморозном климате, и их приспособлений недостаточно, чтобы продвинуться на север.

Список источников

1. Earle C.J. The Gymnosperm Database. 2023. URL: <http://www.conifers.org> (дата обращения 01.11.2023).
2. Scott A.D., Zimin A.V., Puiu D., et al. A reference genome sequence for giant sequoia. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. 2020;10(11):3907-3919. <http://doi.org/10.1534/g3.120.401612>
3. Shive K.L., Wuenschel A., Hardlund L.J. et al. Ancient trees and modern wildfires: Declining resilience to wildfire in the highly fire-adapted giant sequoia. *Forest Ecology and Management*. 2022;511:120110. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120110>
4. Sillett S.C., Antoine M.E., Carroll A.L., et al. Rangeland climatic sensitivities and non-timber values of tall Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2022;526:120573. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120573>
5. Sillett S.C., Van Pelt R., Carroll A.L., et al. Aboveground biomass dynamics and growth efficiency of Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2020;458:117740. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117740>
6. De La Torre A.R., Sekhwal M.K., Puiu D., et al. Genome wide association identifies candidate genes for drought tolerance in coast redwood and giant sequoia. *The Plant Journal*. 2022;109(1):7-22. <http://doi.org/10.1111/tpj.15592>
7. Sillett S.C., Van Pelt R., Carroll A.L., et al. Structure and dynamics of forests dominated by Sequoiadendron giganteum. *Forest Ecology and Management*. 2019;448:218-239. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.064>
8. Cox L.E., York R.A., Battles J.J. Growth and form of giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum*) in a plantation spacing trial after 28 years // *Forest Ecology and Management*. 2021;488:119033. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119033>
9. Bold G., Langer M., Börnert L., Speck T. The protective role of bark and bark fibers of the giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum*) during high-energy impacts. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(9):3355. <http://doi.org/10.3390/ijms21093355>
10. Williams C.B., Reese Næsborg R., Ambrose A.R. et al. The dynamics of stem water storage in the tops of Earth's largest trees – Sequoiadendron giganteum. *Tree Physiology*. 2021;41(12):2262-2278. <http://doi.org/10.1093/treephys/tpab078>
11. Iberle B.G., Van Pelt R., Sillett S.C. et al. Development of mature second-growth Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2020;459:117816. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117816>
12. Fu F., Song C., Wen C., et al. The Metasequoia genome and evolutionary relationships among redwoods. *Plant Communications*. 2023; 4(6):1006434. <http://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100643>
13. Fan Y., Wang L., Su T., et al. Spring drought as a possible cause for disappearance of native Metasequoia in Yunnan Province, China: Evidence from seed germination and seedling growth. *Global Ecology and Conservation*. 2020;22: e00912. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00912>
14. Zhao Z., Wang Y., Zang Z. Climate warming has changed phenology and compressed the climatically suitable

References

1. Earle C.J. The Gymnosperm Database. 2023. URL: <http://www.conifers.org>
2. Scott A.D., Zimin A.V., Puiu D., et al. A reference genome sequence for giant sequoia. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. 2020;10(11):3907-3919. <http://doi.org/10.1534/g3.120.401612>
3. Shive K.L., Wuenschel A., Hardlund L.J. et al. Ancient trees and modern wildfires: Declining resilience to wildfire in the highly fire-adapted giant sequoia. *Forest Ecology and Management*. 2022;511:120110. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120110>
4. Sillett S.C., Antoine M.E., Carroll A.L., et al. Rangeland climatic sensitivities and non-timber values of tall Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2022;526:120573. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120573>
5. Sillett S.C., Van Pelt R., Carroll A.L., et al. Aboveground biomass dynamics and growth efficiency of Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2020;458:117740. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117740>
6. De La Torre A.R., Sekhwal M.K., Puiu D., et al. Genome wide association identifies candidate genes for drought tolerance in coast redwood and giant sequoia. *The Plant Journal*. 2022;109(1):7-22. <http://doi.org/10.1111/tpj.15592>
7. Sillett S.C., Van Pelt R., Carroll A.L., et al. Structure and dynamics of forests dominated by Sequoiadendron giganteum. *Forest Ecology and Management*. 2019;448:218-239. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.064>
8. Cox L.E., York R.A., Battles J.J. Growth and form of giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum*) in a plantation spacing trial after 28 years. *Forest Ecology and Management*. 2021;488:119033. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119033>
9. Bold G., Langer M., Börnert L., Speck T. The protective role of bark and bark fibers of the giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum*) during high-energy impacts. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(9):3355. <http://doi.org/10.3390/ijms21093355>
10. Williams C.B., Reese Næsborg R., Ambrose A.R. et al. The dynamics of stem water storage in the tops of Earth's largest trees – Sequoiadendron giganteum. *Tree Physiology*. 2021;41(12):2262-2278. <http://doi.org/10.1093/treephys/tpab078>
11. Iberle B.G., Van Pelt R., Sillett S.C. et al. Development of mature second-growth Sequoia sempervirens forests. *Forest Ecology and Management*. 2020;459:117816. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117816>
12. Fu F., Song C., Wen C., et al. The Metasequoia genome and evolutionary relationships among redwoods. *Plant Communications*. 2023; 4(6):1006434. <http://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100643>
13. Fan Y., Wang L., Su T., et al. Spring drought as a possible cause for disappearance of native Metasequoia in Yunnan Province, China: Evidence from seed germination and seedling growth. *Global Ecology and Conservation*. 2020;22: e00912. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00912>
14. Zhao Z., Wang Y., Zang Z. Climate warming has changed phenology and compressed the climatically suitable

habitat of *Metasequoia glyptostroboides* over the last half century. *Global Ecology and Conservation*. 2020.23: e01140. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01140>

15. Huang X., Zhu J., Yao L., et al. Structure and spatial distribution pattern of a native *Metasequoia glyptostroboides* population in Hubei. *Biodiversity Science* 2020;28(4):463. <http://doi.org/10.17520/biods.2019283>

16. Yang C., Zhang X., Wang T., et al. Phenotypic plasticity in the structure of fine adventitious *Metasequoia glyptostroboides* roots allows adaptation to aquatic and terrestrial environments. *Plants*. 2019;8(11):501. <http://doi.org/10.3390/plants8110501>

17. Гатцук Л.Е. Геммаксиллярные растения и система соподчиненных единиц их побегового тела. Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 1974.79(1):100-113.

18. Матюхин Д.Л. Системы элементарных моноритмических побегов у хвойных. Известия ТСХА. 2012;1:142-152. <http://doi.org/10.55959/MSU0027-1403-BB-2023-128-1-37-45>

19. Prevost M.F. Architecture del quelques Apocynacees ligneuses. *Mem. Soc. Bot. Fr.* 1967;4:24-36.

20. Tomlinson P.B. Crown structure in Araucariaceae. Available at website Proceedings of the International Dendrology Society, Araucariaceae, Auckland. 2003:16.

21. Матюхин Д.Л. Моноритмические системы побегов у хвойных: Дис. ... докт. биол. наук: 1.5.9. Ботаника (Препринт / Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН). URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gbsad.ru/doc/2022/dissovet/matyuhin/diss-matyuhin.pdf> (Дата обращения 15.10.2023).

22. Матюхин Д.Л. Разнообразие филломорфных ветвей у хвойных. Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 2023;128(1):37-45.

23. Мейен С.В. Основы палеоботаники: справочное пособие. М.: Недра, 1987:380.

24. Hallé F., Oldeman R.A., Tomlinson P.B. *Tropical Trees and Forests*. Berlin: Springer-Verlag. 1978:441.

25. Матюхин Д.Л. О необычном варианте апикального доминирования в приростах у Araucariaceae и Cupressaceae / Д.Л. Матюхин // Биоморфология растений: традиции и современность: Материалы Международной научной конференции, Киров, 19-21 октября 2022 года. Киров: Вятский государственный университет, 2022:145-149. EDN QWWMER

Сведения об авторе

Дмитрий Леонидович Матюхин, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: d.matukhin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0368-4340>

Статья поступила в редакцию 08.11.2023
Одобрена после рецензирования 27.11.2023
Принята к публикации 01.12.2023

habitat of *Metasequoia glyptostroboides* over the last half century. *Global Ecology and Conservation*. 2020.23: e01140. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01140>

15. Huang X., Zhu J., Yao L., et al. Structure and spatial distribution pattern of a native *Metasequoia glyptostroboides* population in Hubei. *Biodiversity Science*. 2020;28(4):463. <http://doi.org/10.17520/biods.2019283>

16. Yang C., Zhang X., Wang T., et al. Phenotypic plasticity in the structure of fine adventitious *Metasequoia glyptostroboides* roots allows adaptation to aquatic and terrestrial environments. *Plants*. 2019;8(11):501. <http://doi.org/10.3390/plants8110501>

17. Gatsuk L.E. Gemmaxillary plants and the system of subordinate units of their shoot body. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 1974;79(1):100-113. (In Rus.)

18. Matyukhin D.L. Systems of elementary monorhythmic shoots in conifers. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2012;1:142-152. <http://doi.org/10.55959/MSU0027-1403-BB-2023-128-1-37-45> (In Rus.)

19. Prevost M.F. Architecture del quelques Apocynacees ligneuses. *Mem. Soc. Bot. Fr.* 1967;4:24-36.

20. Tomlinson P.B. Crown structure in Araucariaceae. Available at website Proceedings of the International Dendrology Society, Araucariaceae, Auckland. 2003:16.

21. Matyukhin D.L. Monorhythmic systems of shoots in conifers: DSc (Bio) thesis: 1.5.9. Botany (Preprint / The Tsitsin Main Botanical Garden of Academy of Sciences). Access mode: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gbsad.ru/doc/2022/dissovet/matyuhin/diss-matyuhin.pdf> (Access date: 10.15.2023) (In Rus.)

22. Matyukhin D.L. Diversity of phyllomorphic branches in conifers. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 2023;128(1):37-45. (In Rus.)

23. Meyen S.V. *Fundamentals of paleobotany*. M.: Nedra, 1987:380. (In Rus.)

24. Hallé F., Oldeman R.A., Tomlinson P.B. *Tropical Trees and Forests*. Berlin: Springer-Verlag. 1978:441.

25. Matyukhin D.L. On the unusual variant of apical dominance in growth in Araucariaceae and Cupressaceae. *Biomorfologiya rasteniy: traditsii i sovremennost'*: Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Kirov, 19-21 oktyabrya 2022 goda. Kirov: Vyatskiy gosudarstvenniy universitet, 2022:145-149. EDN QWWMER (In Rus.)

Information about the author

Dmitriy L. Matyukhin, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany, Selection and Seed Production of Garden Plants, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: d.matukhin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0368-4340>

The article was submitted to the editorial office 08 Nov 2023
Approved after reviewing 27 Nov 2023
Accepted for publication 01 Dec 2023