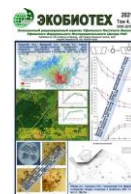




# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>



## УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПОЛЕЙ (*POPULUS* SPP.) К ЗАБОЛЕВАНИЯМ И КОМПЛЕКСУ ВРЕДИТЕЛЕЙ

Синчук Н.В.\* , Курченко В.П.

Белорусский государственный университет, Минск  
(Беларусь)

\*E-mail: [n.v.sinchuk@gmail.com](mailto:n.v.sinchuk@gmail.com)

В обзоре дан анализ, взаимосвязи эволюции формирования представителей рода *Populus* и устойчивости к заболеваниям и комплексу вредителей. Интродукция различных видов тополя и их гибридов в Европе связана с использованием их древесины, благодаря низкой плотности и теплопроводности, которая почти в два раза ниже значений, установленных для дуба, бука или граба. Древесина тополя нашла широкое применение в качестве строительных и топливных материалов. Представители рода тополь (*Populus* L.) широко используется для озеленения населенных пунктов и создания защитных насаждений. Широкое распространение тополей и их гибридов ограничивается их неустойчивостью к различным заболеваниям и вредителям. Существуют межвидовые различия устойчивости к заболеваниям и действию вредителей у представителей рода *Populus*. Это связано с особенностями эволюции и появлением у представителей этого рода ряда свойств, которые способствуют устойчивости к грибным заболеваниям и воздействию различных насекомых.

**Ключевые слова:** тополь ♦ филогения ♦ вредители ♦ заболевания ♦ интродукция ♦ антропогенные факторы

## RESISTANCE OF POPLAR SPECIES (*POPULUS* SSP.) TO DISEASES AND THE COMPLEX OF PESTS

Sinchuk N.V.\* , Kurchenko V.P.

Belarusian State University, Minsk  
(Belarus)

\*E-mail: [n.v.sinchuk@gmail.com](mailto:n.v.sinchuk@gmail.com)

The review analyzes the relationship between the evolution of the formation of representatives of the genus *Populus* and resistance to diseases and the complex of pests. The introduction of various poplar species and their hybrids in Europe is associated with the use of their wood due to the low density and thermal conductivity, which is almost twice lower than the values established for oak, beech or hornbeam. Poplar wood has found wide application as construction and fuel materials. Poplar genus (*Populus* L.) is widely used for landscaping settlements and creating protective plantings. The widespread distribution of poplars and their hybrids is limited by their instability to various diseases and pests. There are interspecific differences in resistance to diseases and the action of pests in representatives of the genus *Populus* due to the peculiarities of evolution and the appearance of several properties in representatives of this genus that contribute to resistance to fungal diseases and the effects of various insects.

**Keywords:** poplar ♦ phylogeny ♦ pests ♦ diseases ♦ introduction ♦ anthropogenic factors

Поступила в редакцию: 10.09.2021

[DOI: 10.31163/2618-964X-2021-4-3-210-220](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2021-4-3-210-220)

Род *Populus* L. относится к семейству Salicaceae, распространенных в умеренных и холодных районах северного полушария по широте от 20° до 70°. Представители этого рода являются широко распространенными видами. Северная граница распространения тополей совпадает с границей древесной растительности, а южная захватывает Северную Африку, Персию, Гималаи, горы Южного Китая, Калифорнию, Новую Мексику и Флориду [Миرون, 1958]. Однако тополя встречаются и за пределами этих широт. Например, в Северной Америке наиболее распространен *Populus tremuloides* Michx., ареал которого доходит до 110° западной долготы и 47° северной широты, он также является вторым наиболее распространенным видом в мире [Jones, 1985; Barnes, Nan, 1993]. Представители

рода *Populus* являются пионерными видами в освоении различных территорий. Исследование пыльцы показывают, что после ледникового периода виды *Populus* часто доминировали в первичных лесных сообществах [Keenan, Сwynar, 1992]. В Европе такими видами являются *P. tremula* L. и *P. nigra* L., которые встречаются вдоль рек и на пастбищах вместе с *Salix alba* L.

Интродукция различных видов тополя и их гибридов в Европе связана с использованием их древесины. В середине 18 века *P. × canescens* 'Serotina' (*P. nigra* × *P. deltoides* var. *Moniifera*) был одним из первых широко культивируемых гибридных тополей [White 1993]. Благодаря низкой плотности и теплопроводности, которая почти в два раза ниже значений, установленных для дуба, бука или граба [Battaglia et al., 1980]. Первые плантации тополя, предназначенные для производства древесины, появились на рубеже XIX и XX веков в связи с растущим спросом на фанеру и балансовую древесину [FAO, 1980]. Интерес к тополям резко возрос после Второй мировой войны, из-за высокого спроса на быстрорастущую и доступную древесину. В рамках национальных программ ряда стран Европы ведутся работы о межвидовой гибридизации тополей. Зачастую в качестве родительских видов используются *P. deltoides* W.Bartram ex Marshall и *P. nigra* для последующего отбора гибридов устойчивых к антропогенному загрязнению, болезням и различным вредителям [Nervo, 2011]. Многие клоны от гибридов *P. deltoides*, *P. nigra*, *Populus trichocarpa* Torr. & Gray., *Populus maximowiczii* A. Henry, *Populus balsamifera* L. были протестированы на скорость роста, морозостойкость, устойчивость к насекомым и болезням. Были отобраны клоны, пригодные для конкретных экологических регионов Северной Америки и Европы [Vallee, 1995; Coaloa D, 2011]. Древесина тополя, производимая в европейских странах, широко используется для производства фанеры / шпона (40 %), пиломатериалов (31 %), целлюлозы, бумаги, картона (15 %), а топливная древесина составляет 1 % [Nervo, 2011].

Легкость размножения, высокая скорость роста и неприхотливость обеспечили им популярность в качестве декоративного и ветрозащитного растения. Широкое разведение гибридных тополей проводится в Канаде, США, Италии, Нидерландах, Венгрии, Великобритании, Швеции, Исландии и других странах с целью создания новых адаптированных к местным условиям сортов с лучшими характеристиками [Tullus, 2012; Stobrawa, 2014].

Представители рода тополь (*Populus* L.) широко используется для озеленения населенных пунктов и создания защитных насаждений. Это обусловлено тем, что он обладает целым рядом полезных биологических свойств, таких как быстрый рост, экологическая пластичность, легкость вегетативного размножения многих видов и форм. Тополя, за исключением старых деревьев, проявляют высокую пыле-, дымо- и газоустойчивость, успешно выполняют защитные и санитарно-гигиенические функции. Листья поглощают из воздуха значительное количество токсичных веществ (сероводород, диоксид серы, окислы азота, аммиак и др.), частично очищая его от вредных примесей [Кулагин, 1974].

Широкое распространение тополей и их гибридов ограничивается их неустойчивостью к различным заболеваниям и вредителям. Существуют межвидовые различия устойчивости к заболеваниям и действию вредителей у представителей рода *Populus*. Это связано с особенностями эволюции рода *Populus* и времени возникновения видов.

Род обычно делится на 6 секций [FAO, 1980]: *Turanga*, *Leucoides*, *Leuce*, *Aigeiros*, *Abaso* и *Tacamahaca*, в которых представлено до 85 видов тополя [Dickmann, Kuzovkina, 2014].

Флора Китая насчитывает 71 вид тополя из пяти секций, за исключением секции *Abaso* [Zhou A-Petal., 2018]. Филогеографические закономерности распространения тополей в Европе находятся под сильным влиянием ледниковых периодов. Из-за климатических условий после отступления ледяных щитов, миграция сформировала сегодняшние ареалы распространения видов [Petit et al., 2003].

Многочисленные виды рода *Populus* первоначально диверсифицировались в недавнем прошлом около 6 млн лет назад (рис. 1). Все семейство отделилось от сестринского семейства около 92 млн лет назад, а три последовательные группы внутри семейства разошлись на 69, 61 и 55 млн лет назад, что указывает на относительно позднюю диверсификацию клад [Lei Zhang et al., 2018].

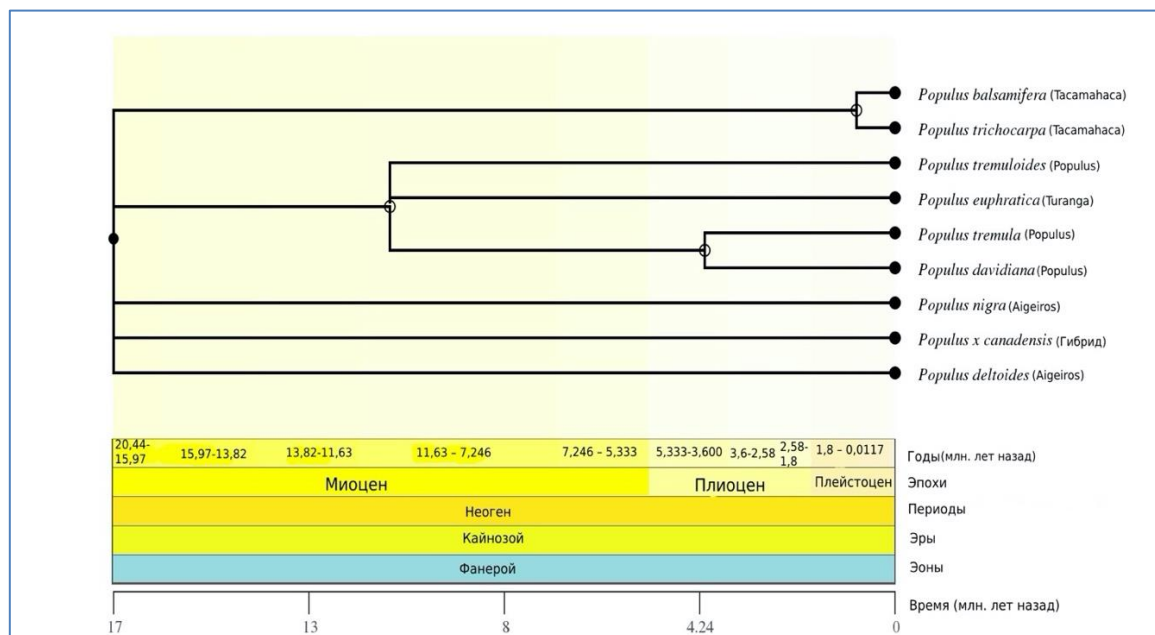


Рис. 1 Дерево времени рода *Populus* [TimeTree.org].

Наиболее эволюционно продвинутые секции – *Populus*, *Aigeiros* Lunell и *Tacamahaca* Mill. – имеют гибридное происхождение [Wang et al., 2014]. При этом виды секции *Aigeiros*, вероятно, возникли позже в результате древней гибридизации предков *Populus* и *Tacamahaca*, что согласуется с палеоботаническими результатами, поскольку ископаемые остатки видов секции *Aigeiros* появляются в отложениях позже [Eckenwalder, 1996]. На ранних стадиях эволюции генетическая дивергенция между предками разных секций была слабой, что, в частности, подтверждается фактами древних захватов пластид вследствие гибридизации [Wang et al., 2014; Du et al., 2015; Liu et al., 2017]. В настоящее время межсекционная гибридизация успешно протекает только между видами *Aigeiros* и *Tacamahaca* [Vanden Broeck et al., 2005; Прошкин, 2017].

Тополья представляют собой среду для обитания, богатую разнообразием различных видов грибов и насекомых. Существование системы растение-хозяин – фитофаг насчитывает более 400 млн лет, это означает, что она сформировалась практически сразу после выхода растений на сушу [Bruce, 2015]. Виды *Populus* подвергаются нападению по крайней мере 300 видов насекомых и клещей в Северной Америке [Mattson et al., 2001] и около 525 видов в Европе [Dickmann, Kuzovkina, 2014]. Большая численность, разнообразие и способы воздействия насекомых на развитие тополей приводит к угнетению их роста, что создает экологические проблемы. Они поедают листья и почки, высасывают сок, вызывают образование галлов, проникают в побеги и древесину, поражают корни и переносят болезни

растений. Насекомые также могут сильно повлиять на функциональные или эстетические характеристики тополей. Вспышка вредителей может снизить, если не уничтожить, функцию ряда деревьев, посаженных в качестве ветрозащиты или для защиты от солнца. И наоборот, ветрозащитные деревья могут быть проблемой, если они являются хозяевами вредителей соседних продовольственных культур. Виды деревьев, произрастающих в городах, теряют свою эстетическую ценность из-за нападений минервов, которые портят листья и вызывают их преждевременное опадание. Наконец, насекомые могут передавать или способствовать проникновению грибковых или других патогенных микроорганизмов растениям [Isebrands et al, 2014]. Это наносит деревьям такой серьезный физический ущерб, который снижает их экономическую или экологическую ценность.

На рисунке 2 представлено филогенетическое дерево, показывающее степень родства тополей различных секций и время их формирования.

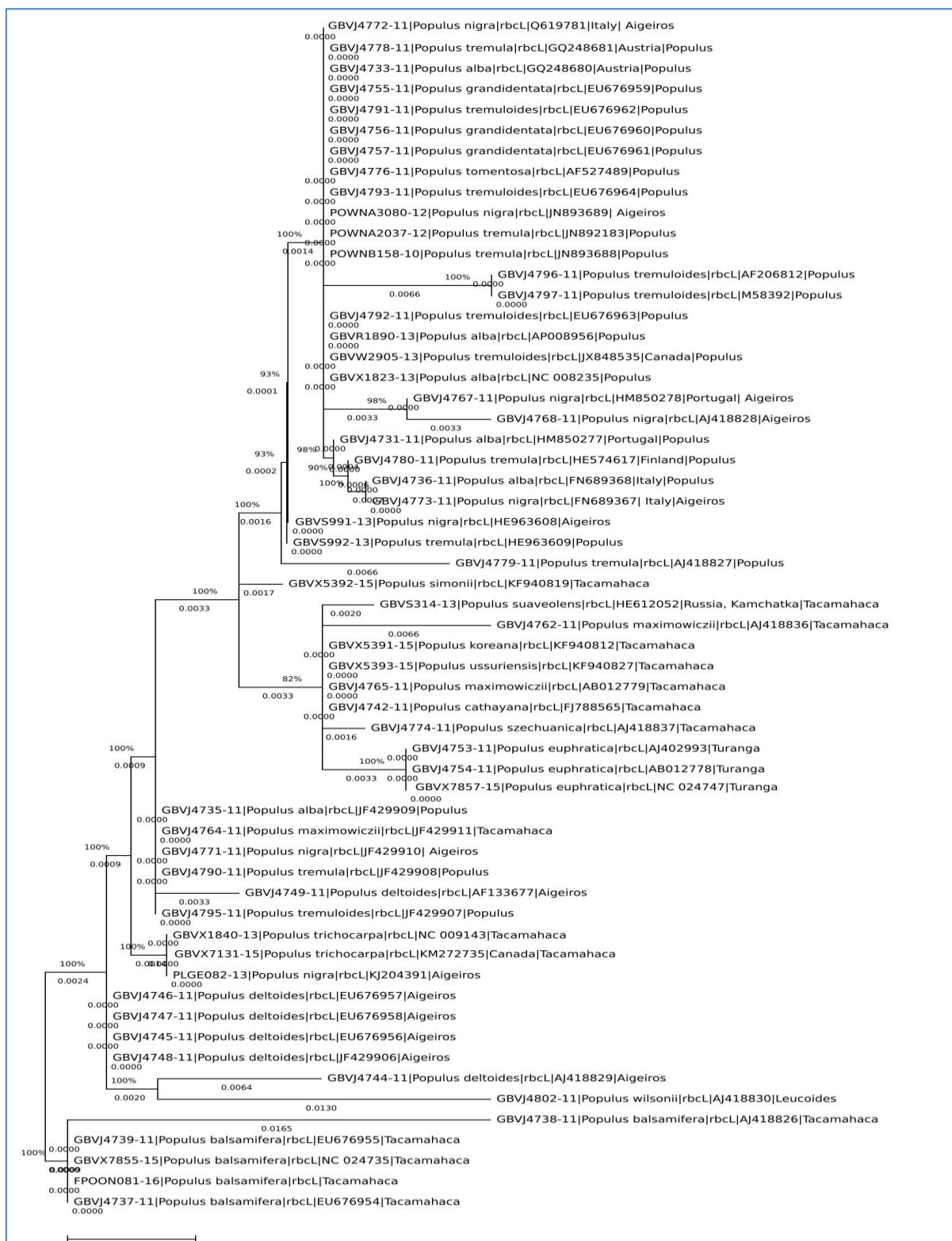
В связи с особенностями эволюционного формирования секций тополя, входящие в них виды имеют различную устойчивость к заболеваниям и комплексу вредителей. В таблице представлен анализ устойчивости секций тополя к наиболее распространенным вредителям и заболеваниям.

**Таблица. Сравнительная характеристика секций рода *Populus***

	Секция					
	Abaso	Aigeiros	Leucoides	Populus	Tacamahaca	Turanga
Распространение	Мексика	Европа, Северная Африка, Ближний Восток, Центральная Азия, Северная Америка	Восточная часть Северной Америки и Центральная Азия	Европа, Северная Африка, Ближний Восток, Азия и Северная Америка	Азия, Северная Америка	Северная Африка, Восточная и Центральная Азия
Сельскохозяйственное использование	нет	очень важно	мало или не важно	очень важно	очень важно	важно
Устойчивость к бактериям	не установлено	не устойчив к <i>Xantomonus populi</i> Ride	не устойчив	не установлено	не устойчив к <i>Xantomonus populi</i> Ride	не устойчив
Устойчивость к грибам	не устойчив	устойчив к <i>Phellinus tremulae</i> , не устойчив к <i>Melampsora</i> spp., <i>Marssonina</i> spp., <i>Discosporium populeum</i> , <i>Septoria musiva</i> Peck	не устойчив	не устойчив к <i>Hypoxyton mammatum</i> , <i>Phellinus tremulae</i> (Bond.) Bond. & Borisov.	устойчив к <i>Phellinus tremulae</i> , не устойчив к <i>Melampsora</i> spp	не устойчив
Устойчивость к насекомым	не установлено	не устойчив	не установлено	не устойчив	не устойчив	не устойчив

Ниже представлена краткая характеристика секций рода *Populus* и обзор наиболее опасных заболеваний и вредителей.

**Секция *Aigeiros* Duby** (Дельтовидные тополя) от других отличается характерными дельтовидными листьями на длинных, как у осин, черешках. Имеются формы деревьев, имеющие пирамидальную крону, которые разводятся в южных районах России – так называемые пирамидальные тополя. Представители видов тополей этой секции сформировались более 15 млн лет назад. В эту секцию входят виды: *Populus nigra*, *Populus deltoides*, *Populus fremontii*.



**Рис. 2.** Филогенетическое дерево, отображающее степень родства тополей, сиквенсы которых были взяты с генетической базы BOLD. Дерево построено на основе анализа последовательностей хлоропластного гена *rbcL* с применением метода максимального правдоподобия. Метки на базальных ветвях варьируют от 82 до 100 % (надежность топологии высокая при значении  $\geq 70$  %). В строках слева направо: номер образца в базе BOLD | вид растения | *rbcL* | номер сиквенс в генбанке | страна | секция рода *Populus*.

Секция *Tacamahaca* Sprach (Бальзамические тополя). Почки и листья наиболее богаты душистой смолой. Представители видов тополей этой секции сформировались

в послеледниковый период. В эту секцию входят виды: *Populus angustifolia* E.James, *Populus balsamifera*, *Populus ciliata* Wall. Ex Royle, *Populus koreana* Rehder, *Populus laurifolia* Ledeb., *Populus maximowiczii* A. Henry, *Populus simonii* Carriere, *Populus suaveolens* Fisch., *Populus szechuanica* C. K. Schneid., *Populus trichocarpa*, *Populus yunnanensis* Dode.

Для секции тополей *Aigeiros* и *Tacamahaca* наиболее опасными являются следующие болезни. Листовая ржавчина (*Melampsora* spp.) – самое распространенное и серьезное заболевание тополей, которое вызывает снижение роста до 65 % [Widin, Schipper, 1981]. *Melampsora larici-populina* наиболее распространена в Евразии [Yu Z et al, 2019]. Листовая пятнистость (*Marssonina* spp.) может вызывать преждевременную дефолиацию [Zhang et al, 2018]. Вызывает до 30 % потерь производства древесины в год [Wu J.H. et al, 2012]. Септориозная листовая пятнистость или рак (*Septoria* spp.) вызывает нектрию стебля и пятнистость листьев, особенно губительна для гибридов [Qin et al., 2014]. Бактериальное заболевание (рак), вызванное *Xanthomonas populi*, на протяжении многих лет является приоритетным возбудителем тополей в Европе [Ostry et al, 2014].

**Секция *Populus*.** Наиболее распространённая группа. Содержит вид осина (*Populus tremula*) и группу белые тополя. Близки к осинам. Отличительная особенность — пальчатолопастная форма листьев порослевых побегов и плотное снежно-белое опушение нижней стороны этих листьев. Представители этой секции сформировались 12–5,0 млн. лет назад. В эту секцию входят виды: *Populus adenopoda* Maxim., *Populus alba* L., *Populus grandidentata* Michx., *Populus guzmanantlensis* A.Vázquez & Cuevas, *Populus sieboldii* Miq., *Populus simaroa* Rzed., *Populus tremula* L., *Populus tremuloides* Michx. В отличие от других представителей рода тополь, почки и листья не выделяют клейкого вещества. Это может являться причиной плохой устойчивости видов тополей, входящих в эту секцию, к грибным заболеваниям и комплексу вредителей. Грибы, входящие в сообщества с *Populus*, – самые разнообразные. Известно, что гниение одного лишь *P. tremuloides* вызывается более, чем 250 видами [Lindsey, Gilbertson, 1978]. Для представителей секции *Populus* опасными являются следующие паразиты: гипоксилонный рак (*Entoleuca mammata*) [Jeger et al., 2017] и фузариоз (*Gibberella* spp.) [Gennaro and Giorcelli, 2019].

**Секция *Leucoides* Spach** (Левкоидные тополя) является наиболее древней группой тополей. Представители обладают наиболее крупными почками, серёжками и листьями. В неё входят виды: *Populus lasiocarpa*, *Populus glauca* Haines, *Populus heterophylla*, *Populus wilsonii*. Представители видов этой секции не устойчивы к бактериальным и грибковым заболеваниям.

**Секция *Turanga* Bunge.** Туранги издавна напоминают осину, но крона более рыхлая. В отличие от всех остальных тополей, ствол у них нарастает не моноподиально, а симподиально, как у ив. В эту секцию входят виды: *Populus euphratica* Olivier, *Populus ilicifolia*, *Populus pruinosus* Schrenk. Представители этой секции сформировались около 12 млн. лет назад. Почки и листья видов, входящих в эту секцию, наиболее богаты смолой. В связи с этим эти деревья не повреждаются бутонными вредителями, которые поедают почки весной, прежде чем перейти к листьям, и в значительной мере не подвергаются различным грибковым заболеваниям. Устойчивы к *Anoplophora glabripennis* [Sjöman et al., 2014].

**Секция *Abaso* Eckenw** (Мексиканские тополя). Единственный сохранившийся вид *Populus mexicana* является достаточно редким. Нынешняя популяция ограничена поймами в Мексике, ранние распределения ископаемых показывают, что родовые тополя секции

*Abaso* были широко распространены по всей территории Северной Америки и на севере до Аляски. Сохранившиеся листья *P. mexicana* удивительно похожи на самый ранний узнаваемый ископаемый вид *P. wilmattae* Cockrell, который датируется палеоценом, примерно 58 миллионов лет назад [Eckenwalder, 1996].

Основными вредителями тополей являются различные насекомые. Листогрызущие (отряды насекомых Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera и Diptera), которые вызывают дефолиацию обширных участков насаждений. Виды листовых минеров (отряды Lepidoptera, Diptera, Hymenoptera и иногда Coleoptera (*Zeugophora turneri* Power)), личинки которых выедают паренхиму листа (личинка *Ph. populifoliella* первой генерации повреждает до 71% нижней стороны листовой пластины тополя) [Синчук и др, 2020]. Грудехоботные насекомые – сосущие насекомые, например, тли, щитовки и цикадки, питающиеся соком флоэмы дерева или тканями коры. Вредителями побегов являются личинки *Paranthrene tabaniformis* Rottemburg, которые питаются древесиной, вызывая заметное набухание растительной ткани, тем самым способствуя проникновению грибов и бактерий через отверстия, что приводит еще к большему ущербу [Salehi et al., 2021]. Цикады также наносят физический урон, ослабляя молодые побеги, что приводит к их обламыванию. Представители древесных вредителей (Coleoptera, Lepidoptera, иногда Diptera (*Tremex fuscicornis* Fabricius) и Hymenoptera (*Phytobia* spp.)), личинки которых развиваются под корой и в древесине, в результате чего прерывается циркуляция сока, вызывают трещины в коре, приводящие к некрозу древесины. Повреждения могут также привести к появлению патогенных заболеваний растений, которые наносят значительно больший ущерб, чем исходное насекомое. Корневыми вредителями являются некоторые личинки почвенных жуков, которые питаются корнями и могут быть особенно опасны для посадок молодого тополя. Личинки *Melolontha melolontha* L. (Coleoptera: Scarabaeidae) также могут питаться корнями *P. trichocarpa* и *P. nigra* [Lackus et al., 2018]. Также растения повреждаются бутонными вредителями, которые поедают почки весной, прежде чем перейти к листьям. Взрослые жесткокрылые, такие как *Peritelus sphaeroides* Germar могут есть целые почки, или самки могут откладывать яйца в почках. Затем вылупившиеся личинки питаются внутри почек, что приводит к высыханию и опаданию почек. Долгоносик *Pselaphorynchites tomentosus* Gyll. откладывает яйца в почках тополей. Личинки падают на землю, когда опадают почки, и завершают свое развитие в почве [Charles et al., 2014].

Тополя поражаются болезнетворными микроорганизмами, которые обычно специализируются на листьях, стеблях или корнях. Бактерии распространяются каплями воды, переносимыми ветром, загрязненными инструментами, насекомыми и животными. Инфекция передается через корни, рубцы на листьях и свежие раны на ветвях и стеблях. Степень выраженности симптомов зависит от восприимчивости дерева [Kwaśna et al., 2021]. Часто одновременно возникают множественные листовые и стеблевые патогены, что приводит к множественным заболеваниям, которые могут вредить деревьям. Многие патогенные микроорганизмы могут поражать ветки, ветви и стебли, вызывая язвы, отмирание и поломку ветвей. Их воздействие во многом зависит от возраста деревьев, местного микроклимата, времени заражения и условий распространения патогенов и развития болезней.

Деятельность человека сильно трансформирует среду обитания организмов. Городская среда имеет ряд особенностей по сравнению с природными биотопами. Присутствие химических и физических загрязнителей почв и атмосферы, техногенный нагрев нижних слоев атмосферы, изменение скорости и направления воздушных потоков

в плотных и высотных участках застройки обуславливают в населенных пунктах локальные климатические изменения.

Среди основных факторов, отрицательно влияющих на рост тополя в условиях города, выделяют плотную посадку деревьев с небольшой площадью питания для корневой системы; размещение в затененных условиях, где они особенно плохо растут; отсутствие агротехнического ухода за деревьями в течение всей их жизни; сухость и уплотненность почвы (нередко вся корневая система деревьев находится под асфальтом); высокий уровень загрязнения атмосферы автотранспортом и промышленными предприятиями; загрязнение почвы тяжелыми металлами; многочисленные механические повреждения ствола и кроны. Комплекс факторов приводит к физиологической ослабленности деревьев, к поражению фитопатогенами и повреждению филлофагами, что приводит к еще большему снижению роста, потере декоративности и усилению процесса старения [Бакулин, 2005].

Среди негативно влияющих биотических факторов особое место занимает деятельность насекомых-филлофагов, которая ведет не только к снижению декоративных качеств растений, но и приводит к усыханию отдельных листьев, побегов вплоть до гибели деревьев. Среди наиболее опасных фитофагов тополя указывается тополевая моль-пестрянка *Phyllonorycter populifoliella*, которая дает регулярные вспышки массового размножения [Селиховкин и др., 2010] от Восточной Сибири до Франции. При высокой плотности популяции вредителя во время вспышек массового размножения тополевая моль может повреждать более 50 % площади листовых пластинок в процессе развития первой генерации, а в результате развития второй генерации – более 80 % [Трещева, 2017]. В условиях центрального региона Беларуси проведена оценка поврежденности листовых пластинок тополей личинками *Ph. populifoliella* первой генерации, которая указывает на значительное (до 71 %) повреждение листовых пластинок с нижней стороны, до 33 % – верхней. Относительно стабильные параметры повреждений листовых пластинок филлофагом за период 2016-2018 гг. свидетельствуют о стабильно сформированной в условиях насаждений Центрального ботанического сада НАН Беларуси популяционной группировки данного опасного минирующего вредителя декоративных зеленых насаждений [Синчук и др., 2020].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Виды и гибриды рода *Populus* являются хозяевами широкого спектра микроорганизмов на своих естественных и посаженных территориях. К счастью, лишь относительно небольшое количество этих организмов являются патогенами, вызывающими экономически опасные заболевания [Ostry, McNabb, 1985].

Интенсивность поражения деревьев тополя вредителем находится в зависимости от степени ослабления тополя под воздействием ряда факторов сред. Факторы являются усиливающими друг друга, в то время как по отдельности они не могут вызвать значительное снижение прироста тополя [Федорова, Савчук, 2013].

В городских условиях происходят вспышки минеров. Богатство и разнообразие филлофагов обусловлено тем, что они имеют благоприятные условия для обитания, что способствует формированию популяционных группировок. Листовые минеры обладают дополнительной защитой от воздействий окружающей среды. Поскольку листовые минеры является эндофагами, питание внутри растительных тканей обеспечивает личинкам



относительно постоянный режим влажности. Минирующие насекомые защищены растительными тканями от атмосферных загрязнений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулин В.Т. Использование тополя в озеленении промышленных городов Сибири: краткий анализ проблем // Сибирский экологический журнал. 2005. № 4. С. 563–571.
2. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 125 с.
3. Мирон К.Ф. Интродукция тополей и перспектива выращивания их насаждений в лесах Белорусской ССР // Сборник научных трудов. Белорусский лесотехнический институт им. С.М. Кирова. Минск : Звезда. 1958. Вып. XI : Лесоводство, лесные культуры и лесное почвоведение. С. 86–109.
4. Прошкин Б.В., Климов А.В. *Populus × jrtyschensis* Chang Y. в Алтае-Саянской горной стране // Систематические заметки по материалам Гербария им. П. Н. Крылова Томского государственного университета. 2017б. №115. С. 28–35. DOI: [10.17223/20764103.115.5](https://doi.org/10.17223/20764103.115.5)
5. Селиховкин А.В., Алексеев А.С., Лаутнер Э.М. Особенности популяционной динамики тополёвой нижнесторонней моли-пестрянки *Phyllonorycter populifoliella* Tr. (Gracillariidae) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2010. № 192. С. 220–235.
6. Синчук Н.В. Поврежденность листовых пластинок *Populus x canadensis* личинками тополёвой моли-пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella*) в условиях зеленых насаждений Центрального ботанического сада НАН Беларуси в 2016–2018 гг. / Н.В. Синчук, А.Б. Кучвальская, С.В. Буга // Веснік МДПУ імя І. П. Шамякіна. 2020. № 2. С. 58-65.
7. Трещева А.Б. Оценка поврежденности листовых пластинок *Populus × canadensis* (Guinier) личинками тополёвой моли-пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella* (Treitschke, 1833)) // Биологическая осень 2017 (К году науки Беларуси). Тез. докл. междунар. науч. конф. молодых ученых. Минск: БГУ, 2017. С. 222–224.
8. Фёдорова О.А., Савчук Д.А. Влияние экологических факторов на радиальный прирост тополя бальзамического в г. Томске // Вестник КрасГАУ. 2013. №3. С. 84–90.
9. Barnes B.V., Han F. Phenotypic variation of Chinese aspens and their relationships to similar taxa in Europe and North America // Canadian Journal of Botany. 1993. V. 71 (6). P. 799–815. DOI: [10.1139/b93-092](https://doi.org/10.1139/b93-092)
10. Battaglia G., Boykin W., Holcombe W., et al. 1980. Georgia Poultry Industry Research, Final Report: Project A-2464. Georgia Institute of Technology, Engineering Experiment Station, Atlanta, GA, 1980. P. 233.
11. Bruce A.J. Interplay between insects and plants: dynamic and complex interactions that have coevolved over millions of years but act in milliseconds // Journal of Experimental Botany. 2015. V. 66 (2). P. 455–465. DOI: [10.1093/jxb/eru391](https://doi.org/10.1093/jxb/eru391)
12. Charles J.G., Nef L., Allegro G. Insect and other pests of poplars and willows // Poplars and willows: Trees for society and the environment. 2014. V. 22 (8). P. 459 – 526. DOI: [10.1079/9781780641089.0000](https://doi.org/10.1079/9781780641089.0000)
13. Coaloa D, Nervo G. Poplar wood production in Europe on account of market criticalities and agricultural, forestry and energy policy // Actas del Tercer Congreso Internacional de las

- Salicaceas en Argentina 'Los alamos y los sauces junto al paisaje y el desarrollo productivo de la Patagonia' Neuquen, Argentina. 2011. P. 9.
14. Dickmann D.I., Kuzovkina J. Poplars and willows in the world, with emphasis on silviculturally important species // *Poplars and willows: Trees for society and the environment*. 2014. V. 22 (8). P. 91. DOI: [10.1079/9781780641089.0008](https://doi.org/10.1079/9781780641089.0008)
  15. Du S.H., Wang Z.S., Ingvarsson P.K., et al. Multilocus analysis of nucleotide variation and speciation in three closely related *Populus* (Salicaceae) species // *Mol. Ecol.* 2015 V. 24. P. 4994–5005. DOI: [10.1111/mec.13368](https://doi.org/10.1111/mec.13368)
  16. Eckenwalder J.E. Systematics and evolution of *Populus*. In *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. Ed. by R.F. Stettler, H.D. Bradshaw Jr., P.E. Heilman and T.M. Hinkley. NRC Research Press, National Research Council Canada, Ottawa, ON. 1996. P. 7–32.
  17. FAO. *Poplars and Willows in Wood Production and Land Use*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1980. P. 328.
  18. Gennaro M., Giorcelli A. The biotic adversities of poplar in Italy: a reasoned analysis of factors determining the current state and future perspectives // *Annals of Silvicultural Research*. 2019. V. 43(1). P. 41-51. DOI: [10.12899/asr-1817](https://doi.org/10.12899/asr-1817)
  19. Isebrands J.G., Aronsson P., Carlson M., et al. Environmental applications of poplars and willows. In: *Poplars and willows-trees for society and the environment*. Ed. by Isebrands J.G., Richardson J. Oxfordshire, England, 2014. P. 258–336. DOI: [10.1079/9781780641089.0258](https://doi.org/10.1079/9781780641089.0258)
  20. Jeger, M., C. Bragard, D. Caffier, et al. Pest categorisation of *Entoleuca mammata* // *EFSA Journal*. 2017. V.15(7). P. 4925. DOI: [10.2903/j.efsa.2017.4925](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4925)
  21. Jones J.R. Distribution. In *Aspen: ecology and management in the western United States*. Ed. by N.V. DeByle and R.P. Winokur. Gen. Tech. Rep. RM-119, USDA Forest Service, Fort Collins, CO. 1985. P. 9–10.
  22. Keenan T.J., Cwynar L.C. Late Quaternary history of black spruce and grasslands in southwest Yukon Territory // *Can. J. Bot.* 1992. V. 70. P. 1336–1345.
  23. Kwaśna H, Szewczyk W, Baranowska M, Behnke-Borowczyk J. Bacteria associated with vascular wilt of poplar // *Arch Microbiol*. 2021. [published online ahead of print, 2021 Jul 2]. DOI: [10.1007/s00203-021-02464-7](https://doi.org/10.1007/s00203-021-02464-7)
  24. Lackus N.D., Lackner S., Gershenzon J. et al. The occurrence and formation of monoterpenes in herbivore-damaged poplar roots // *Sci Rep*. 2018. V. 8. № 7936 DOI: [10.1038/s41598-018-36302-6](https://doi.org/10.1038/s41598-018-36302-6)
  25. Lei Zhang, Zhenxiang Xi, Mingcheng Wang, et al. Plastome phylogeny and lineage diversification of Salicaceae with focus on poplars and willows // *Ecology and Evolution*. 2018. V. 8. N 16. P. 7817–7823. DOI: [10.1002/ece3.4261](https://doi.org/10.1002/ece3.4261)
  26. Lindsey J.P., Gilbertson R.L. Basidiomycetes that decay aspen in North America // *Bibl. Mycol*. 1978. V. 63. P. 1–406.
  27. Liu X., Wang Z., Shao W., et al. Phylogenetic and taxonomic status analyses of the Abaso section from multiple nuclear genes and plastid fragments reveal new insights into the North America origin of *Populus* (Salicaceae) // *Front. Plant Sci*. 2017. V. 7. P. 2022. DOI: [10.3389/fpls.2016.02022](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02022)
  28. Mattson W.J., Hart E.A., Volney, W.J.A. Insect pests of *Populus*: coping with the inevitable. In: *Poplar Culture in North America*. Ed. by Dickmann D.I., Isebrands J.G., Eckenwalder J.E. Richardson J. National Research Council of Canada Research Press, Ottawa, Canada, 2001. P. 219–248.

29. Nervo G, Coaloa D, Vietto L, et al. Current situation and prospects for European poplar culture: the role of Italian research. Third International Congress of Salicaceae in Argentina. 2011. P. 9.
30. Ostry M.E., McNabb H.S., Jr. Susceptibility of *Populus* species and hybrids to disease in the North Central United States // Plant Disease. 1985. V. 69. P. 755–757.
31. Ostry M, Ramstedt M, Newcombe G, Steenackers M. Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment. Ed. by J.G. Isebrands and J. Richardson. FAO. 2014. P. 443-458.
32. Petit R., Aguinalalde I., de Beaulieu J.L., et al. Glacial refugia: hotspots but not melting pots of genetic diversity // Science. 2003. V. 300(5625). P. 1563–1565. DOI: [10.1126/science.1083264](https://doi.org/10.1126/science.1083264)
33. Qin R, Stanosz G.R., LeBoldus J.M. A Nonwounding Greenhouse Screening Protocol for Prediction of Field Resistance of Hybrid Poplar to Septoria Canker // Plant Dis. 2014. V. 98(8). P. 1106-1111. DOI: [10.1094/PDIS-11-13-1152-RE](https://doi.org/10.1094/PDIS-11-13-1152-RE)
34. Salehi M., Ghods khah Daryaei M., Amanzadeh, B., et al. Antixenosis resistance of one-year-old poplar seedlings of different clones to poplar clearwing moth, *Paranthrene tabaniformis* Rott. (Lep.: Sesiidae) // Caspian Journal of Environmental Sciences. 2021. V. 19(3). P. 415-422. DOI: [10.22124/cjes.2021.4928](https://doi.org/10.22124/cjes.2021.4928)
35. Sjöman H, Östberg J, Nilsson J. Review of host trees for the wood-boring pests *Anoplophora glabripennis* and *Anoplophora chinensis*: an urban forest perspective. Arboriculture & Urban Forestry. 2014. V. 40(3). P. 143–164.
36. Stobrawa K. Poplars (*Populus* spp.): ecological role, applications and scientific perspectives in the 21st century // Baltic Forestry. 2014. V. 20 (1). P. 204–213.
37. TimeTree: a resource for timelines, timetrees, and divergence times. Available from [http://www.timetree.org/search/goto\\_pairwise](http://www.timetree.org/search/goto_pairwise) [16 June 2021].
38. Tullus A, Rytter L, Tullus T, et al. Short-rotation forestry with hybrid aspen (*Populus tremula* L., *P. tremuloides* Michx.) in Northern Europe // Scandinavian Journal of Forest Research. 2012. V. 27(1). P. 10–29.
39. Vallee G. Projet du MRNQ sur l'amélioration génétiques des peupliers dans la région du Saguenay-Lac-St-Jean. In: Reprint of the Annu. Meet. of the Poplar Council of Canada, Chicoutimi, Quebec. Direction de la recherche forestière, Ministère des Ress. Natur. du Québec; 1995. P. 89–106.
40. Vanden Broeck A., Storme V., Cottrell J.E., et al. Gene flow between cultivated poplars and native black poplar (*Populus nigra* L.): a case study along the river Meuse on the Dutch-Belgian border // Forest Ecology and Management. 2004. V. 197. P. 307–310.
41. Yu Z, Shen K, Newcombe G, et al. Leaf Cuticle Can Contribute to Non-Host Resistance to Poplar Leaf Rust // Forests. 2019. V. 10(10). P. 870. DOI: [10.3390/f10100870](https://doi.org/10.3390/f10100870)
42. Wang Z, Du S, Dayanandan S, et al. Phylogeny Reconstruction and Hybrid Analysis of *Populus* (Salicaceae) Based on Nucleotide Sequences of Multiple Single-Copy Nuclear Genes and Plastid Fragments // PLoS ONE. 2014. V. 9(8). e103645. DOI: [10.1371/journal.pone.0103645](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103645)
43. White J. Black poplar: the most endangered native timber tree in Britain. Forestry Authority Research Division. 1993. N 239. P. 4.
44. Widin K.D., Schipper A.L. Effect of *Melampsora* leaf rust infection on yield of hybrid poplars in the north central United States // Eur. J. For. Path. 1981. V. 11. P. 438–448.
45. Wu J.H., Li Z., Zhou Z.B., et al. Forecast model of poplar black spot caused by *Marssonina brunnea* // For. Pest Dis. 2012. V. 31. P. 5–8.
46. Zhang Y, Tian L, Yan D-H, et al. Genome-Wide Transcriptome Analysis Reveals the Comprehensive Response of Two Susceptible Poplar Sections to *Marssonina brunnea* Infection // Genes. 2018. V. 9(3). P. 154. DOI: [10.3390/genes9030154](https://doi.org/10.3390/genes9030154)
47. Zhou A-P, Zong D, Gan P-H, et al. Analyzing the phylogeny of poplars based on molecular data // PLoS ONE. 2018. V. 13(11). P. e0206998. DOI: [10.1371/journal.pone.0206998](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206998)