

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-359-376

Б.В. Прошкин¹, А.В. Климов^{2, 3}

¹ Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний,
654066 г. Новокузнецк, Кемеровская обл., Российская Федерация

² ООО «ИнЭкА-консалтинг»,
654027 г. Новокузнецк, Кемеровская обл., Российская Федерация

³ Кузбасский гуманитарно-педагогический институт
Кемеровского государственного университета,
654041 г. Новокузнецк, Кемеровская обл., Российская Федерация

Фенотипический анализ *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov в насаждениях Сибири

Цель настоящего исследования – рассмотреть закономерности изменчивости качественных признаков и фенотипов *Populus × sibirica* в Сибири, на основе данных об их вариабельности в отдельных районах региона. Исследование направлено на обобщение полученных результатов по разнообразию качественных морфологических признаков вида, его фенотипов, оценки внутривидовой и межвидовой изменчивости по фенотипам. Для изучения вариабельности обследовано 180 деревьев, на которых обмерены 2700 листьев в зеленых насаждениях городов Новокузнецк, Новосибирск, Бердск, Иркутск, Братск и Красноярск. При анализе качественных признаков морфологическими маркерами выбраны: форма листовой пластинки, ее верхушки и основания, наличие базальных железок, опушение черешка. Фенотип особи определяли по сочетанию

морфологических качественных признаков. По результатам исследований у *Populus × sibirica* выявлено четыре фенотипа, распространенных во всех насаждениях. В изученных городах Сибири преобладали особи с опушенными черешками (46,6–73,0%), яйцевидной формой листовой пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой. Оценка внутривидового разнообразия фенотипов по индексу Животовского, показала, что полученные показатели очень близки. Доля вариативности по качественным признакам и фенотипам внутри насаждения показала резкое преобладание над межвидовым разнообразием и низкую дифференциацию изученных насаждений, как по качественным признакам (3,5%), так и по фенотипам (2,8%), что еще раз указывает на культурное возникновение таксона. Этот факт также подтверждают крайне высокое фенотипическое сходство исследованных выборок ($r = 94,2–99,8\%$) и отсутствие их достоверных отличий по фенотипическому составу.

Ключевые слова: *Populus × sibirica*, изменчивость, качественные признаки изменчивости, фены, фенотип, фенотипы тополя, фены тополей, морфология тополя, изменчивость тополя

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Прошкин Б.В., Климов А.В. Фенотипический анализ *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov в насаждениях Сибири // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 4. С. 359–376. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-359-376

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-359-376

B.V. Proshkin¹, A.V. Klimov^{2, 3}

¹ KI of the FPS of Russia,
Novokuznetsk, Kemerovo region, 654066, Russian Federation

² InEKA-Consulting LLC,
Novokuznetsk, Kemerovo region, 654027, Russian Federation

³ Kuzbass Humanitarian Pedagogical Institute
of the Kemerovo State University,
Novokuznetsk, Kemerovo region, 654041, Russian Federation

Phenotypic analysis of *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov in the plantations of Siberia

The purpose of this study is to consider patterns of variability of qualitative traits and phenotypes of *Populus × sibirica* in Siberia based on data on their variability in certain areas of the region. The study is aimed at summarizing the results obtained on the diversity of qualitative morphological traits of the species, its phenes, assessing intrapopulation and interpopulation variability in phenotypes. To study the variability, 180 trees were examined, on which 2700 leaves were measured in the green spaces of the cities of Novokuznetsk, Novosibirsk, Berdsk, Irkutsk, Bratsk and Krasnoyarsk. When analyzing the qualitative features, the following morphological markers were chosen: the shape of the leaf blade, its apex and base, the presence of basal glands, and petiole pubescence. The phenotype of an individual was determined by a combination of morphological qualitative traits. According to the results of the research, four phenotypes were found in *P. × sibirica*, common in all stands. In the studied cities of Siberia, individuals with pubescent petioles (46.6–73.0%), an ovoid leaf blade with a rounded wedge-shaped base and a pointed apex prevailed. An assessment of the intrapopulation diversity of phenotypes according to the Zhivotovsky index showed that the obtained indicators are very close. The share of variability in terms of quality traits and phenotypes within the plantation showed a sharp predominance

over interpopulation and low differentiation of the studied plantations, both in terms of qualitative traits (3.5%) and phenotypes (2.8%), which once again indicates the cultural occurrence of the taxon. This fact is also confirmed by the extremely high phenotypic similarity of the studied samples ($r = 94.2-99.8\%$) and the absence of their significant differences in phenotypic composition.

Key words: *Populus × sibirica*, variability, qualitative traits, phenes, phenotype, poplar phenotypes, poplar phenes, poplar morphology, poplar variability

FOR CITATION: Proshkin B.V., Klimov A.V. Phenotypic analysis of *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov in the plantations of Siberia. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 4. Pp. 359–376. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-359-376

Введение

Populus × sibirica – один из наиболее широко распространенных таксонов древесных растений в Сибирском регионе. В недавнем прошлом, в 1950–1970-х гг., он активно использовался для озеленения населенных мест, создания скверов, парков, лесопарков, озеленения жилых кварталов и промышленных территорий. Он широко применялся для защитного лесоразведения: создания полезащитных лесных полос, защитных насаждений вдоль железнодорожных путей, автострад, по берегам водоемов, каналов и оврагов. Уже столь значительная практика применения таксона делает его изучение актуальным. Однако с *P. × sibirica* дела обстоят значительно сложнее. Поскольку даже для большинства специалистов он был (к сожалению, для многих и остается) известен под совершенно другим названием – *P. balsamifera* L. Последний североамериканский тополь (секция *Tasamahaca* Mill.) значительно отличается от тополя сибирского, как морфологическими признаками, так и экологическими требованиями [Eckenwalder, 2010; Климов и др., 2018]. В результате необычайно широкое практическое применение *P. × sibirica* сочеталось с незнанием его биологии и агротехники, следствие этого – низкое санитарное состояние большинства насаждений в регионе.

В настоящее время *Populus × sibirica* не используется в современном озеленении, а оставшиеся его многочисленные насаждения подвергаются массовой вырубке и кронированию. Широкое распространение вредителей и, в частности, тополевой моли-пестрянки *Phyllonorycter populifoliella* (Treitschke, 1833), вызвало массовое преждевременное

усыхание и отмирание листьев, особенно в городских посадках, и еще раз подтвердило отсутствие биологической устойчивости одновидовых насаждений к энтомовердителям и грибковым заболеваниям.

Тем не менее, изучение биологии этого таксона в настоящее время не становится менее актуальным, несмотря на отказ от применения его в создании современных озеленительных экспозиций. Массовость искусственных насаждений *Populus × sibirica*, а также возникших семенным путем на многочисленных нарушенных землях породили широкое участие его в спонтанной антропогенной гибридизации в многочисленных ее очагах в Сибири и сделали его одной из главных угроз для сохранения генофонда местных видов тополей [Костина и др., 2016; Прошкин, Климов, 2017, 2019]. Однако для изучения антропогенной спонтанной гибридизации необходимо иметь исчерпывающие данные о морфологии его вегетативных органов и характере их изменчивости. Поэтому цель настоящего исследования – рассмотреть закономерности изменчивости качественных признаков и фенотипов *P. × sibirica* в Сибири на основе данных об их вариабельности в отдельных районах региона. Исследование направлено на обобщение полученных результатов по разнообразию качественных морфологических признаков вида, его фенотипов, оценки внутривидовой и межвидовой изменчивости по фенотипам.

Материалы и методы

Изучение вариабельности качественных признаков *P. × sibirica* проведены в зеленых насаждениях городов Новокузнецк, Новосибирск, Бердск, Иркутск, Братск и Красноярск. В каждом с 30 рандомизированно отобранных репродуктивно зрелых деревьев с южной стороны средней части кроны проводился сбор гербарного материала. С каждой особи отбиралось по 15 полностью развитых, неповрежденных листьев, со средней части укороченных побегов. Всего было обследовано 180 деревьев, на которых были обмерены 2700 листьев.

Морфологические признаки исследовали с использованием сравнительно-морфологического метода. При этом изучен комплекс признаков: форма листовой пластинки, ее верхушки и основания, наличие базальных желёзок, опушения черешка. Подробное описание методов исследования и изучения изменчивости приведены в работе авторов [Климов, Прошкин, 2021].

Опушение черешка листа исследовалось с помощью стереоскопического микроскопа МБС-10 (ЛЗСОС, Россия) при увеличении 16,3×. Степень развития трихом оценивали по шкале: 1ОП – черешок голый, трихом нет; 2ОП – редко опушен, волоски рассеяны по поверхности.

Принадлежность особей к определенному фенотипу определяли по сочетанию морфологических качественных признаков. Для оценки внутрипопуляционной и межпопуляционной изменчивости использовали хи-критерий (χ^2), для попарного сравнения выборок – показатель фенотипического сходства популяций r :

$$r = \sum \sqrt{p_i \times q_i},$$

где p_i – встречаемость 1-го фенотипа в выборке из первой популяции, q_i – встречаемость 1-го фенотипа в выборке из второй популяции [Рязанова, 2016].

Статистическую значимость показателя сходства оценивали по I -критерию идентичности Животовского (1979):

$$I = \frac{8 \times n_1 \times n_2}{n_1 + n_2} \times \left(1 - r - \frac{p_0 + q_0}{4} \right),$$

где p_0 – сумма частот фенотипов первой выборки, не представленных во второй; q_0 – сумма частот фенотипов второй выборки, не представленных в первой; n_1 и n_2 – объемы первой и второй выборок.

Критерий идентичности Животовского проверяет нулевую гипотезу о принадлежности обеих выборок к одной генеральной совокупности. Сама величина I имеет приблизительно распределение хи-квадрат с m^{-1} степенями свободы, где m – количество морф, в нашем случае – фенотипов [Рязанова, 2016].

Результаты

Как мы уже отмечали, при изучении *Populus × sibirica* в различных районах Сибири наблюдается ряд качественных признаков с общими особенностями их изменчивости. Многие из них с такими же закономерностями варьируют и у других таксонов секций *Tacamahaca* Mill и *Aigeiros* Lunell или в целом в пределах рода *Populus* L.

1. Для *P. × sibirica*, как и других гибридов, возникших от скрещивания таксонов секций *Tacamahaca* и *Aigeiros*, характерна дифференциация укороченных побегов кроны на лептобласты и дискобласты [Климов и др., 2018; Климов, Прошкин, 2019].

2. От распространенного на юге Сибири естественного гибрида *P. × irtyschensis* Chang Y. Yang, произрастающего в местах наложения родительских видов *P. laurifolia* Ledeb. (секция *Tacamahaca*) и *P. nigra* L. (секция *Aigeiros*), тополь сибирский отличается наличием базальных

жёлёзок в основании листовой пластинки. Хотя этот признак варьирует на эндогенном (в пределах особи) уровне. И более надёжно разграничивается другим качественным признаком – окраской перидермы однолетних укороченных побегов leptобластов. У тополя иртышского она серая, редко серовато-желтая, у *Populus × sibirica* – оранжево-серая (рис. 1).



Рис. 1. Систематический признак *Populus × sibirica* – оранжево-серая окраска перидермы однолетних укороченных побегов кроны (лептобластов)

Fig. 1. The systematic feature of *Populus × sibirica* is the orange-gray color of the periderm of annual short crown shoots (leptoblasts)

3. Для листьев *Populus × sibirica* характерна преимущественно яйцевидная форма пластинки, реже яйцевидно-треугольная. Во всех исследованных насаждениях городов Сибири преобладают пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

Встречаемость качественных признаков в насаждениях по несмещенной оценке частот ($p \pm Sp$)
[Occurrence of qualitative traits in plantations according to unbiased frequency estimation ($p \pm Sp$)]

Признак [Trait]	Вариация [Variations]	Братск [Bratsk]	Иркутск [Irkutsk]	Красноярск [Krasnoyarsk]	Бердск [Berdsk]	Новосибирск [Novosibirsk]	Новокузнецк [Novokuznetsk]
Форма листовой пластинки [Leaf blade shape]	Яйцевидно- треугольная [Ovoid-triangular]	138 / 0,307 ± 0,021	90 / 0,200 ± 0,023	109 / 0,242 ± 0,023	168 / 0,375 ± 0,022	189 / 0,422 ± 0,023	194 / 0,432 ± 0,023
	Яйцевидная [Ovoid]	312 / 0,693 ± 0,021	360 / 0,800 ± 0,023	341 / 0,758 ± 0,023	282 / 0,625 ± 0,022	261 / 0,578 ± 0,023	256 / 0,568 ± 0,023
Форма основания пластинки [Blade base shape]	Округло- клиновидная [Rounded-wedge]	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000
Форма верхушки пластинки [Blade top shape]	Заостренная [Pointed]	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000
Опушение черешка [Petiole pubescence]	Голый [No pubescence]	7 / 0,234 ± 0,077	6 / 0,2 ± 0,073	8 / 0,266 ± 0,081	7 / 0,234 ± 0,077	5 / 0,167 ± 0,068	9 / 0,300 ± 0,083
	Опушенный [Pubescent]	23 / 0,766 ± 0,077	24 / 0,8 ± 0,073	22 / 0,734 ± 0,081	23 / 0,766 ± 0,077	25 / 0,833 ± 0,068	21 / 0,700 ± 0,083
Листья с желёзками [Leaves with glands]	0	15 / 0,033 ± 0,008	26 / 0,057 ± 0,010	31 / 0,069 ± 0,011	49 / 0,111 ± 0,014	99 / 0,222 ± 0,019	99 / 0,222 ± 0,019
	1	58 / 0,128 ± 0,015	108 / 0,240 ± 0,020	76 / 0,169 ± 0,017	119 / 0,266 ± 0,020	99 / 0,222 ± 0,019	149 / 0,333 ± 0,022
	2	377 / 0,839 ± 0,017	316 / 0,703 ± 0,021	343 / 0,762 ± 0,020	282 / 0,623 ± 0,022	252 / 0,556 ± 0,023	202 / 0,445 ± 0,023
Наличие желёзок, количество деревьев [The presence of glands, the number of trees]	Без желёзок [No glands]	–	–	–	–	–	–



Рис. 2. Типичные яйцевидные листовые пластинки *Populus x sibirica*

Fig. 2. Typical ovate leaf blades of *Populus x sibirica*

На эндогенном уровне ряд признаков (форма верхушки, основания листовой пластинки, опушение) не варьируют, эти признаки – фены для всех таксонов рода. По форме листовой пластинки в кроне может наблюдаться несколько морф, но одна из них всегда преобладает. Эта закономерность, вероятно, характерна в целом для рода *Populus*.

По сочетанию изученных качественных морфологических признаков у *P. x sibirica* выявлено четыре фенотипа, распространенных во всех изученных насаждениях. Они распадаются на две группы по характеру опушения листа, в каждой из которых представлены по два фенотипа с отличной формой листовой пластинки (табл. 2). В изученных городах Сибири преобладали особи с опушенными черешками (46,6–73,0%), яйцевидной формой листовой пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой. Доля особей с голым черешком не превышает 30%, и среди них также преобладают растения с яйцевидной формой листовой пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой. Растения с яйцевидно-треугольной формой листовой пластинки составляют от 16,0 до 40,0% выборки (см. табл. 2).

Таблица 2

Встречаемость фенотипов и показатель внутрипопуляционного разнообразия Животовского ($\mu \pm S\mu$)
[Occurrence of phenotypes and index of intrapopulation diversity of Zhivotovsky ($\mu \pm S\mu$)]

Фенотип [Phenotype]	Братск [Bratsk]	Иркутск [Irkutsk]	Красноярск [Krasnoyarsk]	Бердск [Berdsk]	Новосибирск [Novosibirsk]	Новокузнецк [Novokuznetsk]
Черешок листа голый, листовая пластинка яйцевидно-треугольная, основание листовой пластинки округленно-клиновидное, верхушка пластинки заостренная [Leaf petiole bare, leaf blade ovate-triangular, the base of the leaf blade is rounded-wedge-shaped, the tip of the blade is pointed]	3/0,1	3/0,1	3/0,1	3/0,1	2/0,07	5/0,166
Черешок листа голый, листовая пластинка яйцевидная, основание листовой пластинки округленно-клиновидное, верхушка пластинки заостренная [Leaf petiole bare, leaf blade ovoid, the base of the leaf blade is rounded-wedge-shaped, the tip of the blade is pointed]	4/0,134	3/0,1	5/0,166	4/0,134	3/0,1	4/0,134
Черешок листа опушен, листовая пластинка яйцевидно-треугольная, основание листовой пластинки округленно-клиновидное, верхушка пластинки заостренная [Leaf petiole pubescent, leaf blade ovate-triangular, the base of the leaf blade is rounded-wedge-shaped, the tip of the blade is pointed]	9/0,3	2/0,07	4/0,134	4/0,134	8/0,264	5/0,166

Черешок листа опушен, листовая пластинка яйцевидная, основание листовой пластинки округленно-клиновидное, верхушка пластинки заостренная [Leaf petiole pubescent, leaf blade ovoid, the base of the leaf blade is rounded-wedge-shaped, the tip of the blade is pointed]	14/0,466	22/0,73	18/0,6	19/0,632	17/0,566	16/0,534
μ	3,651	3,062	3,470	3,392	3,404	3,686
$S\mu$	0,206	0,309	0,247	0,284	0,260	0,196

П р и м е ч а н и е. μ – показатель внутрипопуляционного разнообразия Животовского; $S\mu$ – ошибка показателя Животовского.

[N o t e. μ – indicator of Zhivotovsky's intrapopulation diversity; $S\mu$ – error of the Zhivotovsky exponent.]

Оценка внутривидового разнообразия по фенотипам по индексу Животовского ($\mu \pm S\mu$), показала, что полученные показатели очень близки, хотя наибольшее разнообразие характерно для Братска и Новокузнецка (см. табл. 2).

Соотношение внутривидовой и межвидовой изменчивости оказалось типичным для *Populus L.* [Macaya-Sanz et al., 2012; Jiang et al., 2015; Климов, Прошкин, 2018, 2021; Прошкин, Климов, 2019]. Доля вариативности по качественным признакам и фенотипам внутри насаждения показала резкое преобладание над межвидовой, низкую дифференциацию изученных насаждений как по качественным признакам (3,5%), так и по фенотипам (2,8%) (табл. 3).

Таблица 3

**Разнообразие внутри и между насаждениями *Populus × sibirica*
(по индексу Шеннона)
[Diversity within and between stands of *Populus × sibirica*
(by Shannon's index)]**

Признак [Trait]	H_{cm}	H_n	F_n	F_{mn}
Форма листовой пластинки [Leaf blade shape]	0,913	0,888	0,973	0,027
Форма основания пластинки [Blade base shape]	0	0	0	0
Форма верхушки пластинки [Blade top shape]	0	0	0	0
Опушение черешка [Petiole pubescence]	0,783	0,775	0,989	0,011
Базальные желёзки [Basal glands]	1,247	1,179	0,946	0,054
Среднее по качественным признакам [Average for qualitative features]	0,981	0,947	0,965	0,035
Фенотипы [Phenotypes]	1,614	1,569	0,972	0,028

Примечание. H_{cm} – индекс разнообразия для суммарной выборки; H_n – среднее значение индекса разнообразия выборки для популяций; F_n – индекс разнообразия выборки внутри популяций; F_{mn} – индекс межвидового разнообразия.

[Note. H_{cm} – the diversity index for the total sample; H_n – the average value of the diversity index of the sample for populations; F_n – the diversity index of the sample within the populations; F_{mn} – the index of interpopulation diversity.]

Попарное сравнение всех выборок с использованием показателя фенотипического сходства популяций (r) показало, что по фенотипам исследованные насаждения сходны на 94,2–99,8%. Наблюдаемые между насаждениями различия по хи-критерию (χ^2) и I-критерию идентичности Животовского недостоверны (табл. 4).

Обсуждение

Как уже отмечалось, *Populus × sibirica* является, вероятно, полигибридом, отобранном из одной гибридной семьи и возникшим в культуре в результате спонтанного скрещивания видов секции бальзамические (Тасатаһаса) и черные тополи (Агеирос) [Скворцов, 2007; Насимович и др., 2012; Климов и др., 2018; Прошкин, Климов, 2017, 2019]. В настоящей работе на культурное происхождение *P. × sibirica* указывают низкие уровни дифференциации изученных насаждений по качественным признакам (3,5%) и фенотипам (2,8%), крайне высокое их фенотипическое сходство (94,2–99,8%) и отсутствие достоверных отличий по фенотипическому составу.

Настоящие исследования подтвердили неоднократно высказанное ранее предположение о том, что тополь сибирский является культиваром и в исследованных городах Сибири представлен немногочисленными клонами [Бакулин, 1990; Прошкин, Климов, 2019]. По меньшей мере, таких клонов теперь известно четыре, по количеству выявленных авторами фенотипов. Преобладают особи клона с опушенными черешками, яйцевидной формой листовой пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой. Указанные клоны – это тот минимум, который фактически обнаружен и выявлен на основе анализа качественных признаков в Сибирском регионе.

Помимо описанных клонов, вероятно, внутри каждого из них могут существовать еще, по крайней мере, два отличных по полу. Но последнее предположение скорее из разряда теоретически возможного, но фактически не подтвержденного. Для окончательного решения вопроса необходимо провести анализ половой структуры указанных клонов. Если удастся обнаружить какую-либо четко выраженную привязку пола клона и совокупности фенотипических признаков, это может стать важным аспектом решения выявления половой принадлежности особей тополя вне периода цветения и плодоношения. Что может, в свою очередь, явиться важным достижением для решения целого ряда проблем практического применения тополя в озеленении и защитном лесоразведении. Как мы уже отмечали, несмотря на то что признаки генеративных органов у видов рода *Populus* отличаются низкой изменчивостью, их практическое применение имеет весьма значительные ограничения:

Таблица 4

Результаты попарного сравнения выборок в городах Сибири по частотам фенотипов
[The results of pairwise comparison of samples in the cities of Siberia by phenotype frequencies]

	Братск [Bratsk]	Иркутск [Irkutsk]	Красноярск [Krasnoyarsk]	Бердск [Berdsk]	Новосибирск [Novosibirsk]	Новокузнецк [Novokuznetsk]
Братск [Bratsk]		0,942/6,960	0,977/2,760	0,983/2,040	0,992/0,960	0,983/2,040
Иркутск [Irkutsk]	3,170		0,985/1,980	0,984/1,920	0,960/4,800	0,974/3,120
Красноярск [Krasnoyarsk]	1,260	0,783		0,998/0,240	0,981/2,280	0,992/0,960
Бердск [Berdsk]	1,330	0,512	0,068		0,984/1,920	0,991/1,080
Новосибирск [Novosibirsk]	0,335	2,220	1,030	0,891		0,980/2,400
Новокузнецк [Novokuznetsk]	0,881	1,435	0,405	0,433	1,073	

Примечание. Выше диагонали таблицы (выделена серым цветом) – показатель фенотипического сходства популяций / критерий идентичности Животовского. Ниже диагонали таблицы (выделена серым цветом) – χ^2 .

[Note. Indicated above the diagonal of the table (highlighted in gray) is an indicator of phenotypic similarity of populations / Zhivotovsk's identity criterion. Below the diagonal of the table (highlighted in gray) – χ^2 .]

- 1) не позволяет идентифицировать растения, не достигшие репродуктивного возраста;
- 2) тополи двудомные растения;
- 3) имеют непродолжительный период цветения и плодоношения;
- 4) цветковые и плодущие сережки недолго сохраняются в подстилке [Климов, Прошкин, 2019].

Однако пока исследования по специфике мужских и женских клонов тополей, весьма многочисленные в Китае, показывают, что признаки, маркирующие клоны разного пола, являются физиологическими, а не морфологическими и тем более не являются фенами [Xu et al., 2008; Zhao et al., 2009; Chen et al., 2011; Zhang et al., 2014, 2019; Xia et al., 2019; Wu et al., 2021].

Заключение

Проведенные исследования подтвердили неоднократно высказанное ранее предположение о том, что *Populus × sibirica* является культиваром и представлен в насаждениях Сибири, по меньшей мере, четырьмя клонами, отличных по сочетанию качественных морфологических признаков. Указанные признаки не варьируют на эндогенном уровне.

Выводы

1. На культурное происхождение *P. × sibirica* указывают низкие уровни дифференциации изученных насаждений шести городов Сибири (Новокузнецк, Новосибирск, Бердск, Иркутск, Братск и Красноярск) по качественным признакам (3,5%) и фенотипам (2,8%), их крайне высокое фенотипическое сходство (94,2–99,8%) и отсутствие достоверных отличий по фенотипическому составу.

2. В Сибирском регионе *P. × sibirica* представлен, по меньшей мере, четырьмя клонами, из которых наиболее распространены особи клона с опушенными черешками, яйцевидной формой листовой пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой.

Библиографический список / References

Адвентивная флора Москвы и Московской области / Майоров С.Р., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А., Щербakov А.В. М., 2012. [Maiorov S.R., Bochkin V.D., Nasimovich Yu.A., Shcherbakov A.V. Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoy oblasti [Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoy oblasti]. Moscow, 2012.]

Бакулин В.Т. Интродукция и селекция тополя в Сибири. Новосибирск, 1990. [Bakulin V.T. Introduktsiya i selektsiya topolya v Sibiri [Poplar introduction and breeding in Siberia]. Novosibirsk, 1990.]

Животовский Л.А. Показатели сходства популяций по полиморфным признакам // Общая биология. 1979. № 4. С. 587–602. [Zhivotovsky L.A. Indicators of the similarity of populations according to polymorphic traits. *Obshchaya Biology*. 1979. No. 4. Pp. 587–602. (In Rus.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Популяционно-фенетическая структура тополя лавролистного *Populus laurifolia* Ledeb. в бассейне реки Томи // Сибирский лесной журнал. 2018. № 5. С. 62–75. [Klimov A.V., Proshkin B.V. Population and phenetic structure of laurel poplar *Populus laurifolia* Ledeb. in the Tom river basin. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal*. 2018. No. 5. Pp. 62–75. (In Rus.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Использование морфо-анатомических признаков для выявления гибридных растений в зоне естественной гибридизации *Populus laurifolia* и *P. nigra* в Сибири, Россия // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 46. С. 64–81. [Klimov A.V., Proshkin B.V. The use of morpho-anatomical features to identify hybrid plants in the zone of natural hybridization of *Populus laurifolia* and *P. nigra* in Siberia, Russia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2019. No. 46. Pp. 64–81. (In Rus.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Морфология *Populus suaveolens* Fisch. в популяциях Северо-Востока России // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2021. № 55. С. 19–41. [Klimov A.V., Proshkin B.V. *Populus suaveolens* Fisch. morphology in the populations of the North-East of Russia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2021. No. 55. Pp. 19–41. (In Rus.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В., Андреева З.В. Гибридизация видов рода *Populus* L. секций Aigeiros Lunell и Tacamahaca Mill. в природе и культуре // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2018. № 1. С. 16–34. [Klimov A.V., Proshkin B.V., Andreeva Z.V. Hybridization of species of the genus *Populus* L. sections Aigeiros Lunell and Tacamahaca Mill. *Bulletin of NSAU*. 2018. No. 1. Pp. 16–34. (In Rus.)]

Костина М.В., Чиндяева Л.Н., Васильева Н.В. Гибридизация *Populus × sibirica* G. Krylov et Grig. ex Skvortsov и *P. nigra* L. в Новосибирске // Социально-экологические технологии. 2016. № 4. С. 20–31. [Kostina M.V., Chindyaeva L.N., Vasilieva N.V. Hybridization between *Populus × sibirica* G. Krylov et Grig. ex Skvortsov and *P. nigra* L. in Novosibirsk. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2016. No. 4. Pp. 20–31. (In Rus.)]

Прошкин Б.В., Климов А.В. Спонтанная гибридизация *Populus sibirica* и *Populus nigra* в городе Новокузнецке (Кемеровская область) // *Turczaninowia*. 2017. № 4. С. 206–218. [Proshkin B.V., Klimov A.V. Spontaneous hybridization of *Populus × sibirica* and *Populus nigra* in the city of Novokuznetsk (Kemerovo region). *Turczaninowia*. 2017. No. 4. Pp. 206–218. (In Rus.)]

Прошкин Б.В., Климов А.В. Изменчивость количественных и качественных признаков *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 162–175. [Proshkin B.V., Klimov A.V. Variability of quantitative and qualitative traits of *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2019. Vol. 9. No. 2. Pp. 162–175. (In Rus.)]

Скворцов А.К. О сибирском бальзамическом тополе // Бюллетень Главного ботанического сада. 2007. № 193. С. 41–45. [Skvortsov A.K. About Siberian Balsam Poplar. *Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada*. 2007. No. 193. Pp. 41–45. (In Rus.)]

Chen L.H., Han Y., Jiang H. et al. Nitrogen nutrient status induces sexual differences in responses to cadmium in *Populus yunnanensis*. *J Exp Bot*. 2011. No. 62. Pp. 5037–5050.

Eckenwalder J.E. *Populus. Flora of North America – North of Mexico*. New York, 2010. Vol. 7. Pp. 5–22.

Jiang D., Wu G., Mao K., Feng J. Structure of genetic diversity in marginal populations of black poplar (*Populus nigra* L.). *Biochem. Syst. Ecol*. 2015. Vol. 61. Pp. 297–302. DOI: 10.1016/j.bse.2015.06.014

Macaya-Sanz D., Heuertz M., López-de-Heredia U. et al. The Atlantic-Mediterranean watershed, river basins and glacial history shape of the genetic structure of Iberian poplars. *Mol. Ecol*. 2012. Vol. 21. No. 14. Pp. 3593–3609.

Wu X., Liu J., Meng Q. et al. Differences in carbon and nitrogen metabolism between male and female *Populus cathayana* in response to deficient nitrogen. *Tree Physiol*. 2021. Vol. 9. No. 41 (1). Pp. 119–133.

Xia Z.C., He Y., Yu L. et al. Sex-specific strategies of phosphorus acquisition in *Populus cathayana* as affected by soil P availability and distribution. *New Phytol*. 2019. Vol. 225. Pp. 782–792.

Xu X., Yang F., Xiao X.W. et al. Sex specific responses of *Populus cathayana* to drought and elevated temperatures. *Plant Cell Environ*. 2008. Vol. 31. Pp. 850–860.

Zhang S., Jiang H., Zhao H.X. et al. Sexually different physiological responses of *Populus cathayana* to nitrogen and phosphorus deficiencies. *Tree Physiol*. 2014. Vol. 34. Pp. 343–354.

Zhang S., Yang C., Chen M. et al. Influence of nitrogen availability on Cd accumulation and acclimation strategy of *Populus* leaves under Cd exposure. *Ecotox Environ Safe*. 2019. Vol. 180. Pp. 439–448.

Zhao H., Li Y., Duan B. et al. Sex-related adaptive responses of *Populus cathayana* to photoperiod transitions. *Plant Cell Environ*. 2009. Vol. 32. Pp. 1401–1411.

Статья поступила в редакцию 07.09.2022, принята к публикации 14.10.2022

The article was received on 07.09.2022, accepted for publication 14.10.2022

Сведения об авторах / About the authors

Прошкин Борис Владимирович – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник организационно-научного и редакционно-издательского отделения, Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний, г. Новокузнецк, Кемеровская обл.

Boris V. Proshkin – PhD in Biology; senior researcher at the Organizational-scientific and Editorial-publishing Department, KI of the FPS of Russia, Novokuznetsk, Kemerovo region, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2351-9879>

E-mail: boris.vladimirovich.93@mail.ru

Климов Андрей Владимирович – кандидат биологических наук; директор по научной работе, ООО «ИнЭкА-консалтинг»; доцент кафедры естественнонаучных дисциплин, Кузбасский гуманитарно-педагогический институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк, Кемеровская обл.

Andrey V. Klimov – PhD in Biology; scientific director, InEkA-Consulting LLC; associate professor at the Department of Natural Sciences, Kuzbass Humanitarian Pedagogical Institute of the Kemerovo State University, Novokuznetsk, Kemerovo region, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6750-4807>

E-mail: populus0709@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Б.В. Прошкин – анализ и интерпретация результатов обработки данных, подготовка текста статьи

А.В. Климов – общее руководство направлением исследования, обработка данных, участие в подготовке текста статьи

Contribution of the authors

B.V. Proshkin – analysis and interpretation of the results of data processing, preparation of the text of the article

A.V. Klimov – general management of the research direction, data processing, participation in the preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript