

УДК 576.312.35/37:582.42

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХРОСОМОМ ХВОЙНЫХ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В БОТАНИЧЕСКИХ САДАХ, ДЕНДРАРИЯХ И ПАРКАХ

Т. С. Седельникова, А. В. Пименов, Е. Н. Муратова

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: tss@ksc.krasn.ru, pimenov@ksc.krasn.ru, elena-muratova@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 02.06.2023 г.

Обобщены сведения, полученные авторами при кариологическом изучении хвойных, произрастающих в дендрариях, парках, ботанических садах различных стран. В семействе сосновые (*Pinaceae*) изучены представители 7 видов и один межвидовой гибрид рода сосна (*Pinus* L.) и 8 видов рода ель (*Picea* A. Dietr.), которые в диплоидном наборе имеют 24 хромосомы ( $2n = 24$ ), в семействе кипарисовые (*Cupressaceae*) – 5 интродуцированных видов родов туя (*Thuja* L.), кипарис (*Cupressus* L.), кипарисовик (*Chamaecyparis* Spach) и секвойя-дендрон (*Sequoiadendron* J. Buchholz), кариотип которых включает 22 хромосомы ( $2n = 22$ ). У видов, форм и культиваров хвойных из семейств сосновые и кипарисовые, находящихся в условиях интродукции, а также являющихся компонентами зеленых насаждений в населенных пунктах различных географических регионов, обнаружена большая изменчивость кариологических признаков. Отмечаются вариабельность числа хромосом (миксоплоидия), изменение морфологии хромосом, увеличение числа нуклеолярных локусов в хромосомах, появление добавочных хромосом, высокая встречаемость и широкий спектр хромосомных аномалий. Изменения, вероятно, вызваны акклиматизацией растений в новых условиях произрастания и адаптацией к повышенной рекреационной нагрузке в парковых насаждениях. Они могут вызывать повышение фенотипического и генетического разнообразия, что необходимо учитывать при интродукции и проведении мероприятий по селекции различных видов хвойных. На основе полученных данных могут быть решены задачи научного, учебно-просветительского, культурного и оздоровительного значения, разработаны рекомендации по отбору видов и внутривидовых таксонов хвойных, пригодных для озеленения населенных пунктов конкретного региона.

**Ключевые слова:** сосновые, кипарисовые, число хромосом, кариотип, пloidность, геномные и хромосомные мутации, В-хромосомы, миксоплоидия.

DOI: 10.15372/SJFS20230506

Хвойные растения, интродуцированные в дендрариях (арборетумах), парках и скверах, имеют важное научное, культурно-эстетическое и оздоровительное значение. При этом многие виды хвойных успешно произрастают в регионах, далеких от их естественных ареалов. Для разработки научных основ интродукции хвойных растений очень важно исследование их кариотипов, поскольку большая часть наследственной информации сосредоточена в хромосомах. На основе таких исследований могут быть разработаны научно-практические рекомендации по отбору видов и сортов хвойных, пригодных для озеленения конкретного региона. Известно, что хвойные отличаются постоянством числа

хромосом и стабильностью кариотипа. Однако в настоящее время накопилось много сведений о том, что среди отдельных видов, внутривидовых форм и культиваров встречаются экземпляры с нарушениями числа хромосом и различными хромосомными перестройками (Ahuja, 2005; Седельникова и др., 2010; Sedel'nikova et al., 2011; Ohri, 2021; и др.).

Цель настоящей работы – проанализировать данные, полученные авторами при изучении хромосом различных видов хвойных в условиях интродукции.

Материал для исследований собирался в дендрариях (как правило, являющихся подразделениями ботанических садов при научно-ис-



Рис. 1. Парк Победы в г. Ессентуки (фото Т. С. Седельниковой).

следовательских учреждениях), парках, скверах и искусственных насаждениях различного назначения России, Болгарии, КНДР, Кыргызстана, США, Украины, Франции, Чехии. Объекты исследования расположены в экологически чистых районах городов, других населенных пунктов и территорий.

Определение числа и изучение морфологии хромосом, выявление структурных перестроек у анализируемых видов хвойных растений проводилось в меристематических тканях проросших семян (проростков) и хвои. Предварительную обработку материала, фиксацию, окрашивание ацетогематоксилином проводили по модифицированным для хвойных методикам, принятым в кариологических исследованиях (Муратова, 1995). Семена проращивали в чашках Петри, проростки длиной 0.5–1.0 см обрабатывали 1 % раствором колхицина в течение 4–6 ч, затем фиксировали спиртово-уксусной смесью (3:1). Проростки окрашивали 1 % раствором ацетогематоксилина после предварительного протравливания материала в 4 % железозамонийных квасцах. Для просмотра использовали «давленные» препараты, приготовленные стандартным способом: исследуемый кончик корешка помещали на предметное стекло в насыщенный раствор хлоралгидрата и раздавливали под покровным стеклом. Препараты просматривали под микроскопом (окуляр  $\times 10$ , объектив  $\times 90$ ).

В семействе сосновые (Pinaceae) изучены представители родов сосна (*Pinus* L.) и ель

(*Picea* A. Dietr.). Определены числа хромосом и проведен анализ кариотипов 7 видов и одного межвидового гибрида сосны и 8 видов ели. Виды этих родов имеют в диплоидном наборе 24 хромосомы ( $2n = 24$ ).

Проведено исследование сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), высаженной в Парке Победы г. Ессентуки Ставропольского края (Россия), основанном в 1903 г. Он расположен в центре курортной зоны города и занимает территорию около 40 га (рис. 1).

Вначале парк назывался Английским, поскольку был спроектирован в соответствии со стилем английских ландшафтных парков, для которых характерна естественность композиции. Здесь произрастает много интродуцированных видов деревьев и кустарников, организованы маршруты лечебных троп – терренкуров. В семенном потомстве деревьев выявлена миксоплоидия –  $2n = 24/48$  (Седельникова и др., 2008).

Изучено семенное потомство сосны обыкновенной в искусственных посадках, созданных в водоохранной зоне среднего плеса Цимлянского водохранилища в окрестностях ст. Чир Суворовкинского района Волгоградской области (Россия). Миксоплоидия ( $2n = 24/48$ ) выявлена у 43 % проростков (рис. 2).

В арборетуме «Софронка», заложенном в Чехии на окраине г. Пльзень в 1956 г., изучены интродуцированные из разных стран виды сосны: из США (штат Айдахо) – с. горная веймутова (*P. monticola* Douglas ex D. Don); из Македонии –

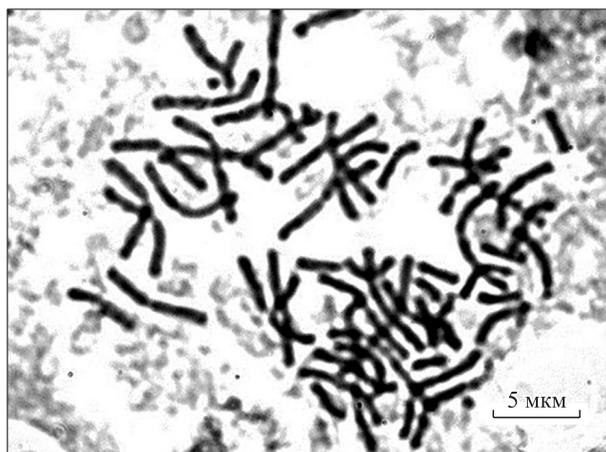


Рис. 2. Тетраплоидная клетка ( $2n = 4x = 48$ ) в корневой меристеме проростков сосны обыкновенной (фото Т. С. Седельниковой).

с. балканская (*P. peuce* Griseb.); из Сербии – с. приморская (*P. pinaster* Aiton); из США (штат Аризона) – с. белая юго-западная (*P. strobiformis* Engelm.); из Испании (провинция Ла Кабанезе) – с. горная древовидная (*P. uncinata* Mill. ex Mirb.), а также межвидовой гибрид с. скрученной и с. Банка (*P. contorta* Dougl. ex Loud. × *P. banksiana* Lamb.).

Здесь высажена уникальная коллекция из 60 видов сосны, одна из крупнейших в Евразии, в настоящее время произрастают 16 видов сосны, которые успешно адаптировались и естественным образом воспроизводятся, еще 14 видов выжили в одном или нескольких экземплярах. Виды сосны, которые хорошо прижились здесь, можно выращивать в большинстве стран Центральной Европы. Изменчивость хромосомных чисел выявлена у сосны приморской ( $2n = 24/36$ ), с. горной древовидной ( $2n = 24/25$ ,  $2n = 24/48$ ,  $2n = 24/25/48$ ), гибрида с. скрученной и с. Банка ( $2n = 24/36$ ,  $2n = 24/48$ ). Встречаемость миксоплоидии у этих видов и гибрида составляет 1–5 % (Седельникова и др., 2008).

Исследована сосна желтая (*Pinus ponderosa* Laws.), интродуцированная в Аксуйской лесной опытной станции им. В. П. Фатунова Института биологии НАН Республики Кыргызстан. Аксуйское опытное лесное хозяйство создано в 1949 г. в с. Теплоключенка (Ак-Суу, Иссыкульская обл.). Оно занимает территорию 1529 га и является единственной в Кыргызстане организацией, проводящей научные опыты по разведению интродуцентов. В Аксуйском опытном лесном хозяйстве заложен дендропарк, в котором произрастает 120 видов кустарников и деревьев, из которых 111 видов – интродуценты. В семенном

потомстве исследованных деревьев сосны желтой отклонений от нормального числа хромосом не выявлено (Седельникова и др., 2008).

У сосны Тунберга (*P. thunbergii* Parl., syn. *P. thunbergiana* Franco), интродуцированной в Центральном ботаническом саду г. Пхеньян (КНДР), также не отмечено нарушений числа хромосом, но обнаружены кольцевые хромосомы (Муратова и др., 2005; Muratova et al., 2008; Седельникова и др., 2010; Sedel'nikova et al., 2011). Ботанический сад, открытый в 1959 г. у подножия горы Тэсон на окраине Пхеньяна, занимает территорию в 20 га. Здесь выращивается около 8.5 тыс. видов растений, представителей более 100 стран мира. Лидерам КНДР посвящен отдельный участок, где высажено более 150 растений, подаренных им главами иностранных государств и партий, политическими, общественными и научными деятелями (Центральный ботанический сад..., 2023).

Исследован хромосомный набор сосны густоцветковой (*P. densiflora* Siebold et Zucc.) из Приморья, введенной в культуру в дендрарии Института садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко, г. Барнаул (Россия). Этот институт, в котором ведутся исследования по интродукции и селекции плодовых и декоративных видов древесных растений, открыт в 1973 г. на базе организованного в 1933 г. при поддержке И. В. Мичурина плодово-ягодного опорного пункта НИИ садоводства (Научно-исследовательский институт..., 2023). Установлено, что у сосны густоцветковой в условиях интродукции наблюдались изменения морфологии хромосом и увеличение числа нуклеолярных локусов в хромосомах (Муратова, 1997; Муратова и др., 2005; Muratova et al., 2008; Седельникова и др., 2010; Sedel'nikova et al., 2011).

У сосны Джеффри (*P. jeffreyi* Grev. et Balf.), произрастающей в национальных парках «Секвойя» и «Кингз Каньон» (США), обнаружена миксоплоидия – вместе с диплоидными клетками содержались гаплоидные с  $2n = 12$  и гиперанеуплоидные с  $2n = 25$ . Частота встречаемости проростков с нарушениями числа хромосом у сосны Джеффри составила 29 % (Седельникова, 2016б).

В семенном потомстве ели обыкновенной (*P. abies* (L.) N. Karst., syn. *P. excelsa* (Lam.) Link) в парковых насаждениях г. Парижа (Франция) также выявлена миксоплоидия – наряду с диплоидными клетками с  $2n = 24$  встречались тетраплоидные с  $2n = 48$  (Седельникова и др., 2008). У ели колючей (*P. pungens* Engelm.), произраста-

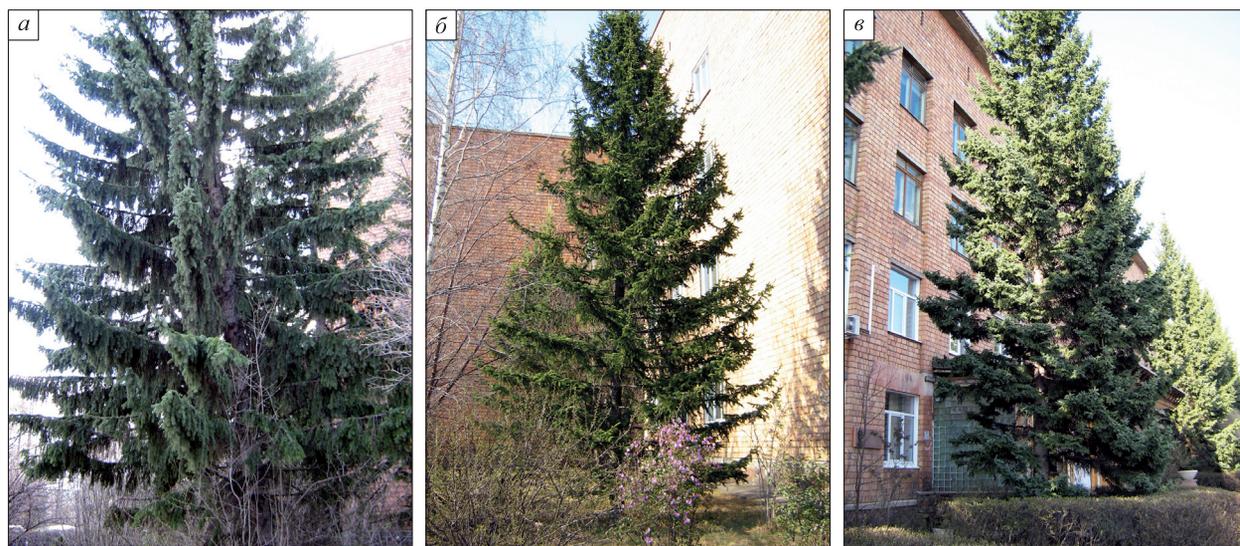


Рис. 3. Декоративные формы ели сибирской в дендрарии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН г. Красноярск: плакучая (а), желтая (б) и семинская (в) (фото Т. С. Седельниковой).

ющей в Национальном парке г. Санта-Фе (Нью-Мексико, США), были найдены В-хромосомы, выявлена миксоплоидия (Владимирова и др., 2007).

Геномные и хромосомные мутации отмечены у представителей рода ель, интродуцированных за пределами ареала в штате Вашингтон (США): е. шероховатой (*P. asperata* Mast.), е. толстоиглой (*P. crassifolia* Kom.), е. Кояма (*P. koyamae* Shiras.), е. сербской (*P. omorika* (Pančić) Purk.), е. отогнутой (*P. retroflexa* Mast.). У ели шероховатой обнаружены миксоплоиды с  $2n = 24/48$ , у е. толстоиглой – с  $2n = 24/48$  и  $24/25/48$ ; у обоих видов встречались ацентрические кольца и точечные хромосомные фрагменты. У е. сербской отмечены миксоплоиды с  $2n = 24/48$ , у е. отогнутой – с  $2n = 24/25$ ,  $24/48$ , у обоих видов найдены хромосомные фрагменты, кольцевые хромосомы, ацентрические кольца. У ели Кояма, кроме миксоплоидии с  $2n = 24/12$  и  $24/48$ , отмечены 1 и 2 В-хромосомы и хромосомные мутации – фрагменты, надетая кольцевая хромосома у е. отогнутой (Горячкина и др., 2013).

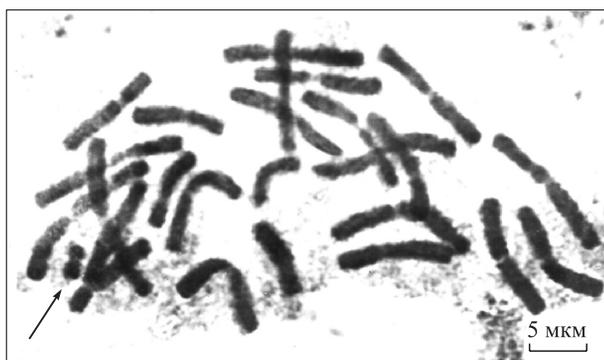
Проведено кариологическое изучение 5 декоративных форм ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), различающихся по форме кроны, морфологии и окраске хвои – длиннохвойная (*P. obovata* f. *densiflora* Lucznik), светящаяся (*P. obovata* f. *lucifera* Lucznik), желтая (*P. obovata* f. *lutescens* Lucznik), плакучая (*P. obovata* f. *pendula* Lucznik), семинская (*P. obovata* f. *seminskiensis* Lucznik) в посадках дендрария Института леса им. В. Н. Сукачева в Академгородке г. Красноярск (рис. 3).

Эти растения отобрала в природе и размножила вегетативным путем З. И. Лучник в дендрарии Института садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко. В Красноярск они привезены и высажены в дендрарий Р. И. Лоскутовым в мае 1977 г.

Дендрарий Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН расположен на высокой (250–260 м над ур. м.) террасе левого берега Енисея (Лоскутов, 1991).

Дендрарий был заложен в 1977 г. по инициативе и непосредственном руководстве академика РАН И. Ю. Коропачинского с целью расширения ассортимента декоративных деревьев и кустарников, применяемых в озеленении населенных пунктов южной части Средней Сибири. Работа по созданию дендрария и организации научных исследований проводилась кандидатом сельскохозяйственных наук Р. И. Лоскутовым. Исходный материал для интродукции собирался в природных популяциях и выписывался из питомников ведущих ботанических садов и дендрариев СССР. За это время испытано около 450 видов древесных растений. В 1991 г. коллекция дендрария насчитывала 406 видов, разновидностей и форм древесных растений, в настоящее время она включает около 250 таксонов, относящихся к 75 родам и 28 семействам (Лоскутов, Седаева, 2014).

Изучение меристематической ткани оснований молодой хвои родительских деревьев выше перечисленных форм показало, что в кариотипах светящейся формы, 2 деревьев семинской формы и 1 из 3 изученных деревьев длиннохвойной



**Рис. 4.** Диплоидная клетка с В-хромосомой ( $2n = 24 + 1B$ , добавочная хромосома указана стрелкой) в корневой меристеме проростков желтой формы ели сибирской (фото Е. Н. Муратовой).

формы имеется 1 В-хромосома ( $2n = 24 + 1B$ ), у желтой – 2 ( $2n = 24 + 2B$ ), у дерева плакучей формы В-хромосом не обнаружено ( $2n = 24$ ). Диплоидная клетка ели сибирской с добавочной хромосомой представлена на рис. 4.

При цитологическом исследовании семенного потомства этих деревьев от свободного опыления добавочные хромосомы обнаружены у всех деревьев, за исключением плакучей формы ели сибирской (Муратова, Владимирова, 2001; Муратова и др., 2001; Владимирова, Муратова, 2002) (см. таблицу).

Кариологический анализ ели сибирской из нескольких мест г. Красноярска (около Большого концертного зала, автовокзала «Взлетка», Театра юного зрителя, в Центральном парке им. М. А. Горького, на Острове отдыха) выявил 1–2 добавочные хромосомы во всех городских насаждениях (Владимирова, Муратова, 2005).

Подобные результаты получены А. К. Буториной и Е. В. Богдановой (2001) при цитологическом изучении североамериканского вида ели белой (*P. glauca* (Moench) Voss) (ее иногда называют е. сизая или е. колючая), произрастающей

в центре г. Воронежа. В кариотипе 8 из 10 изученных деревьев обнаружена 1 В-хромосома и 1–2 – в их семенном потомстве. При этом отмечено, что проростки семян растений, содержащие добавочные хромосомы в кариотипе, более жизнеспособные, а сами растения охарактеризованы авторами как фенотипически лучшие.

В семействе кипарисовые (Cupressaceae) изучены представители родов туя (*Thuja* L.), кипарис (*Cupressus* L.), кипарисовик (*Chamaecyparis* Spach) и секвойядендрон (*Sequoiadendron* J. Buchholz). Всего исследовано 5 видов; кариотип представителей кипарисовых включает 22 хромосомы ( $2n = 22$ ).

Туя восточная, или биота восточная (*Thuja orientalis* L., syn. *Biota orientalis* (L.) Endl., syn. *Platycladus orientalis* (L.) Franco), широко представленная в интродукции, изучена в парках санатория «Виктория» (г. Ессентуки, Ставропольский край, Россия) и Истории Государства Российского (пос. Пятиморск, Волгоградская обл., Россия). В парке санатория «Виктория» площадью 22 га выращивают более 200 видов лекарственных и декоративных растений, в том числе древесных. На его территории установлены фонтаны и архитектурные формы, есть участки, посвященные различной тематике, маршруты лечебной ходьбы (Санаторий..., 2023) (рис. 5).

Парк Истории Государства Российского площадью 26 га заложен в пос. Пятиморск на берегу Волго-Донского канала в 2012 г. (Парк..., 2023). Здесь разбиты тематические аллеи, посвященные героям сражений 1812 г., Гражданской и Великой Отечественной войн, российским и зарубежным государственным и общественным деятелям, аллея Истории Российской Академии наук, аллея Детства и др. На фоне стендов, скульптурных композиций и фонтанов высажены различные виды древесных растений, разбиты цветочные клумбы (рис. 6).

#### Добавочные хромосомы у декоративных форм ели сибирской в дендрарии ИЛ СО РАН

Форма ели	Номер растения	Число хромосом ( $2n$ ) у материнского растения	Число изученных проростков	Число хромосом ( $2n$ ) у проростков и частота его встречаемости, %		
				24	24 + 1B	24 + 2B
Желтая	д. 4	24 + 2B	50	0	8.0	92.0
Длиннохвойная	д. 5	24 + 1B	45	8.9	4.4	86.7
	д. 11	24	68	63.2	36.8	0
	д. 12	24	65	53.8	43.1	3.1
Семинская	д. 9	24 + 1B	50	8.0	86.0	6.0
	д. 10	24 + 1B	64	3.1	93.8	3.1
Светящаяся	д. 13	24	59	74.5	25.4	0
Плакучая	д. 14	24	50	100.0	0	0



Рис. 5. Туя восточная в парке санатория «Виктория» в г. Ессентуки (фото Т. С. Седельниковой).

Также исследована туя восточная, посаженная в парке санатория «Долинка» (окр. г. Чолпон-Ата, Кыргызстан) и в квартале «Симеоново» г. София (Болгария), около горы Витоша (интродукция из Восточной Азии), а также в посадках Рильского мужского монастыря в горном массиве Рила (интродукция из Северного Китая) (рис. 7).



Рис. 6. Туя восточная в Парке Истории Государства Российского в пос. Пятиморск (фото Т. С. Седельниковой).

Различные варианты миксоплоидии ( $2n = 19/22/44$ ;  $2n = 22/24/33$ ;  $2n = 22/33$ ;  $2n = 22/33/44$ ) представлены в проростках деревьев всех исследованных происхождений туи восточной. Миксоплоидия встречается с очень высокой частотой – в отдельных образцах до 100 % проростков содержали клетки с измененным числом хромосом. У туи восточной в образцах, собранных в насаждениях г. София, обнаружена фрагментация хромосом – довольно редкий тип цитологических нарушений.

В семенном потомстве туи восточной, посаженной на территории Рильского мужского монастыря, выявлены мультитрапезоидные клетки (Седельникова и др., 2005, 2008) (рис. 8).

В Национальном дендрологическом парке «Софиевка», являющемся научно-исследовательским институтом НАН Украины, исследован североамериканский по происхождению вид туи западная (*Thuja occidentalis* L.). Этот парк ландшафтного типа находится в г. Умань (Черкасская область, Украина) и считается памятником мирового садово-паркового искусства конца XVIII–XIX вв. (рис. 9).

Парк «Софиевка» основан в 1800 г. польским магнатом Станиславом Потоцким, назван в честь его жены Софии и подарен ей ко дню именин. В настоящее время в парке произрастает почти 3500 таксонов местных и экзотических деревьев и кустарников, построены архитектурные сооружения.

Главная композиция парка проходит по руслу р. Каменки, где сооружены бассейны и пруды, шлюзы, каскады, протекает подземная р. Ахеронт. Парк украшают скалы, гроты, павильоны,



Рис. 7. Туя восточная в городских насаждениях г. София (фото А. Н. Ташева).

беседки, скульптуры. Древесные растения объединены с элементами ландшафта и различными объектами архитектуры (Седельникова, 2016а).

Туя западная издавна включена в селекционный процесс и представлена в культуре большим разнообразием форм и культиваров. В «Софиевке» изучено 4 культивара, отличающихся по морфологическим признакам: ‘Лютеа’ (‘Lutea’) – дерево высотой до 10 м с узкоконической или пирамидальной кроной, мелкой, приплюснутой хвоей, сверху блестящей, золотисто-желтой, снизу – светло-зелено-желтой; ‘Вареана’

(‘Wareana’) – небольшое дерево высотой 4–5 м с плотной широкопирамидальной кроной, короткой ярко-зеленой хвоей; ‘Вареана желтеющая’ (‘Wareana Lutescens’) – со светло-желтой, зимой – с зеленовато-желтой хвоей; ‘Шаровидная’ (‘Globosa’) – карликовая форма до 3 м высотой и 2 м шириной, округлой формой кроны, густо расположенными поднятыми вверх побегами и хвоей, приобретающей бурый оттенок зимой (Седельникова и др., 2014) (рис. 10).

У всех изученных культиваров выявлена миксоплоидия ( $2n = 22/33$ ;  $2n = 22/33/44$ ) (рис. 11).

Миксоплоидные проростки у культиваров туи западной встречаются с высокой частотой (22.7–56.3 %), отличаясь от диплоидных более крупными размерами.

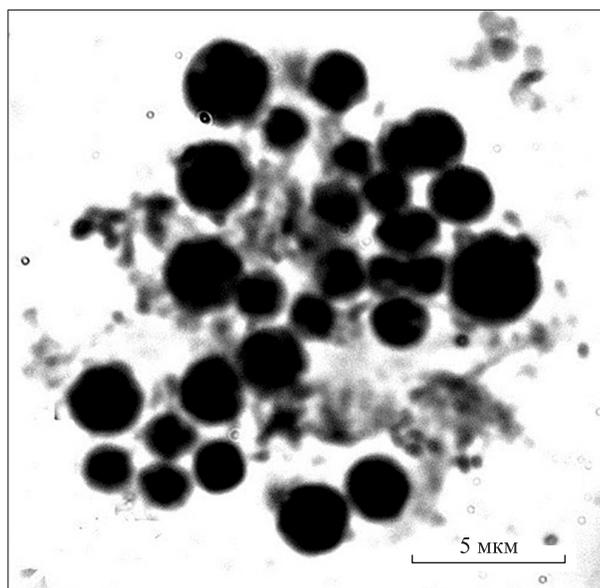


Рис. 8. Мультиядрышковая клетка в корневой меристеме проростков туи восточной (фото А. В. Пименова).



Рис. 9. Национальный дендрологический парк «Софиевка» НАН Украины в г. Умань (фото Т. С. Седельниковой).



Рис. 10. Ландшафтные композиции с участием культиваров туи западной на территории Национального дендрологического парка «Софиевка» НАН Украины в г. Умань (фото Т. С. Седельниковой).

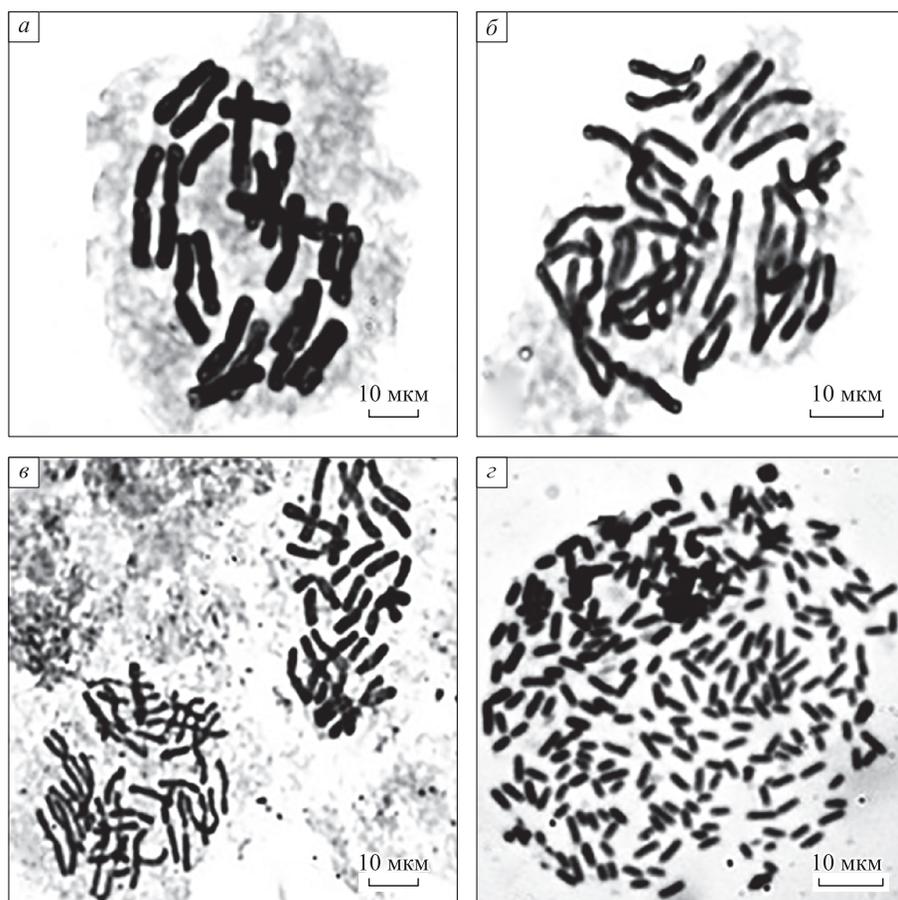


Рис. 11. Различное число хромосом в корневых меристемах проростков туи западной (фото А. В. Пименова).

*a* – диплоидная клетка ( $2n = 2x = 22$ ) у культивара ‘Вареана желтеющая’ (*‘Wareana Lutescens’*); *б* – триплоидная клетка ( $2n = 3x = 33$ ) у культивара ‘Вареана’ (*‘Wareana’*); *в* – диплоидная ( $2n = 2x = 22$ ) и триплоидная ( $2n = 3x = 33$ ) клетки у культивара ‘Вареана’ (*‘Wareana’*); *г* – фрагментация хромосом в полиплоидной клетке у культивара ‘Лютеа’ (*‘Lutea’*).

Наибольшая вариабельность хромосомных чисел отмечается у культиваров ‘Wareana’ и ‘Wareana Lutescens’; у последнего культивара более половины проростков были миксоплоидами. ‘Wareana’, распространенная с 1825 г. из Англии, часто разводится семенами.

При этом получаемый материал отличается неоднородностью, что, возможно, и связано с высокой вариабельностью хромосомных чисел. У культиваров ‘Lutea’ и ‘Wareana Lutescens’ выявлены фрагментация хромосом в клетках различной плоидности, дицентри-

ческие хромосомы (Седельникова и др., 2014) (рис. 11).

В дендрарии Ботанического сада Лесотехнического университета (ЛТУ) в г. Софии изучен кипарис аризонский (*Cupressus arizonica* Greene), интродуцированный из США (штаты Аризона, Калифорния, Нью-Мексико).

Коллекции растений Ботанического сада ЛТУ включают как древесные, так и травянистые виды, произрастающие в открытом грунте, а также тропические, выращиваемые в теплицах. Здесь культивируется более 1000 видов и внутривидовых таксонов, принадлежащих к более чем 400 родам, как местным, так и экзотическим (Лесотехнический университет, 2023).

У кипариса аризонского из дендрария ЛТУ выявлена миксоплоидия ( $2n = 22/33/44$ ). Миксоплоиды с  $2n = 22/26$  и  $2n = 22/44$  найдены также у кипарисовика Лаусона (*Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr.) Parl.), используемых для озеленения в Болгарии – в окр. с. Петково в Родопских горах, в посадках около г. Кюстендил, городского сквера г. Благоевград (Седельникова и др., 2011).

Изучен секвойядендрон гигантский (*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Buchh., syn. *Sequoia gigantea* Torr.) рода секвойядендрон. Семена для исследования собраны в естественных насаждениях данного вида в национальных парках «Секвойя» и «Кингс Каньон», расположенных в США в южной части Сьерра-Невады (штат Калифорния). Парк «Секвойя» площадью 1635 км<sup>2</sup> основан в 1890 г. Он граничит с национальным парком «Кингс Каньон» площадью 1869.25 км<sup>2</sup>, основанном в 1940 г. В настоящее время оба парка находятся под управлением Службы национальных парков США как единое подразделение (Sequoia..., 2023). Здесь произрастают широко известные секвойядендроны, в том числе деревья под названием Генерал Шерман и Генерал Грант – самые большие по объему древесины на Земле. Приблизительно в 17 % проростков семян секвойядендрона гигантского отмечена миксоплоидия с  $2n = 22/33$  (Седельникова, 2016б).

Возникающие время от времени в популяциях хвойных особи с измененным числом хромосом и добавочными хромосомами, по всей вероятности, могут обеспечивать генетический материал для образования новых таксонов различного ранга. Например, у одной из форм туи гигантской найдены гаплоидные деревья, а также химеры, у которых часть ветвей была гаплоидной, а другая – диплоидной. Ряд декоратив-

ных форм кипарисовых, возникших в результате селекционной работы, являются полиплоидами. Многие культивары можжевельника китайского (*Juniperus chinensis* L.) представляют собой триплоиды или тетраплоиды (обзоры: Муратова, Круклис, 1988; Ahuja, 2005; Седельникова и др., 2010; Sedel'nikova et al., 2011; Ohri, 2021). Сорт можжевельника «Pfitzeriana», названный в честь известного селекционера-садовода Вильгельма Фитцера, является аллотетраплоидом, возникшим, как показали молекулярно-генетические исследования, в результате гибридизации м. китайского и м. казацкого (*J. Sabina* L.) (Le Duc et al., 1999).

Предполагается, что одновременное присутствие клеток разного уровня ploидности – миксоплоидия – является одним из факторов эволюции древесных растений, включая хвойные (Буторина, 1989). Хромосомная изменчивость, приводящая к миксоплоидии, наблюдается при изменении и особенно ухудшении условий произрастания, в том числе и при переносе в новые условия обитания. Миксоплоидия часто бывает связана с адаптацией хвойных растений к условиям произрастания, особенно при воздействии экстремальных факторов среды (Седельникова и др. 2010; Sedel'nikova et al., 2011). Одно из последствий частичной полиплоидизации – увеличение уровня клеточного метаболизма. Кроме того, умножение числа геномов препятствует проявлению хромосомных нарушений, возникающих в одном из них (Кунах, 1980, 1995, 2011; Бродский, Урываева, 1981).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показывают, что у различных видов хвойных, в том числе у декоративных форм, сортов и культиваров, при интродукции в дендрариях и парках наблюдаются различные изменения кариологических признаков. Отмечается варибельность числа хромосом (миксоплоидия), изменение морфологии хромосом, увеличение числа нуклеолярных локусов в хромосомах, появление добавочных хромосом и хромосомных перестроек. Наиболее характерной особенностью семенного потомства деревьев, произрастающих в условиях интродукции, является увеличение частоты встречаемости миксоплоидии. Установленные изменения, вероятно, вызваны акклиматизацией деревьев в новых условиях произрастания и адаптацией к повышенной рекреационной нагрузке в парковых насаждениях. Они могут вы-

зывать повышение фенотипического и генетического разнообразия, что необходимо учитывать при интродукции и осуществлении мероприятий по селекции различных видов хвойных.

*Исследования проведены в рамках базового проекта ФИЦ КНЦ СО РАН № 0287-2021-0009 «Функционально-динамическая индикация био-разнообразия лесов Сибири».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бродский В. Я., Урываева И. В. Клеточная полиплоидия. Пролиферация и дифференцировка. М.: Наука, 1981. 259 с.
- Буторина А. К. Факторы эволюции кариотипов древесных // Усп. совр. биол. 1989. Т. 108. Вып. 3 (6). С. 342–357.
- Буторина А. К., Богданова Е. В. Адаптивное значение и возможное происхождение В-хромосом у ели колючей // Цитология. 2001. Т. 43. № 8. С. 809–814.
- Владимирова О. С., Муратова Е. Н. Наследование В-хромосом у ели сибирской // Материалы научной генетической конференции, посвященной 100-летию со дня рожд. А. Р. Жебрака и 70-летию образования кафедры генетики в Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева. М., 2002. С. 382–384.
- Владимирова О. С., Муратова Е. Н. Кариологические особенности ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в условиях антропогенного загрязнения г. Красноярска // Экол. генет. 2005. Т. 3. № 1. С. 18–23.
- Владимирова О. С., Муратова Е. Н., Картюк Т. В. Числа хромосом некоторых видов *Picea* и *Larix* // Бот. журн. 2007. Т. 92. № 5. С. 781–782.
- Горячкина О. В., Муратова Е. Н., Безделев А. Б. Числа хромосом некоторых представителей родов *Abies* и *Picea* (Pinaceae) // Бот. журн. 2013. Т. 98. № 5. С. 645–647.
- Кунах В. А. Геномная изменчивость соматических клеток растений и факторы, регулирующие этот процесс // Цитол. и генет. 1980. Т. 14. № 1. С. 73–81.
- Кунах В. А. Геномная изменчивость соматических клеток растений. 2. Изменчивость в природе // Биополимеры и клетка. 1995. Т. 11. № 6. С. 5–40.
- Кунах В. А. Пластичность генома соматических клеток и адаптивность растений // Молекулярная и прикладная генетика: Сб. науч. тр. Минск, 2011. Т. 12. С. 7–14.
- Лесотехнический университет. София, 2023. <https://www.ltu.bg>
- Лоскутов Р. И. Интродукция декоративных древесных растений в южной части Средней Сибири. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1991. 190 с.
- Лоскутов Р. И., Седаева М. И. Краткая характеристика дендрологической коллекции Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участ., посв. 70-летию созд. Ин-та леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, 16–19 сент. 2014 г. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 86–89.
- Муратова Е. Н. Кариосистематика семейства Pinaceae Lindl. Сибири и Дальнего Востока: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05. Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 1995. 32 с.
- Муратова Е. Н. Кариологический анализ сосны густоцветковой (*Pinus densiflora* Siebold et Zucc.) в условиях интродукции // Состояние и проблемы садоводства России: Сб. науч. тр., посв. 100-летию со дня рожд. М. А. Лисавенко. Ч. II. Новосибирск, 1997. С. 208–213.
- Муратова Е. Н., Владимировая О. С. Добавочные хромосомы кариотипа ели сибирской *P. obovata* // Цитология и генетика. 2001. Т. 35. № 4. С. 38–44.
- Муратова Е. Н., Владимировая О. С., Седельникова Т. С. Числа хромосом некоторых представителей голосеменных растений // Бот. журн. 2001. Т. 86. № 8. С. 143–144.
- Муратова Е. Н., Круклис М. В. Хромосомные числа голосеменных растений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд. ние, 1988. 117 с.
- Муратова Е. Н., Седельникова Т. С., Картюк Т. В., Владимировая О. С., Пименов А. В., Михеева Н. А., Бажина Е. В., Квитко О. В. Кариологические и цитогенетические исследования хвойных Сибири и Дальнего Востока // Сиб. экол. журн. 2005. Т. 12. № 4. С. 573–583.
- Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко. Барнаул, 2023. <http://niilisavenko.org/>
- Парк Истории Государства Российского, 2023. <https://visitvlg.ru/?page=165>
- Санаторий «Виктория» г. Ессентуки, 2023. <https://www.victoria-essentuki.ru>
- Седельникова Т. С. Иван Семенович Косенко (к 75-летию со дня рождения) // Сиб. лесн. журн. 2016а. № 1. С. 76–78.
- Седельникова Т. С. Числа хромосом некоторых видов семейств Cupressaceae и Pinaceae в искусственных и парковых насаждениях // Бот. журн. 2016б. Т. 101. № 11. С. 1350–1352.
- Седельникова Т. С., Муратова Е. Н., Пименов А. В. Изменчивость хромосомных чисел голосеменных растений // Усп. совр. биол. 2010. Т. 130. № 6. С. 557–568.
- Седельникова Т. С., Пименов А. В., Вараксин Г. С., Янковская В. Числа хромосом некоторых видов хвойных // Бот. журн. 2005. Т. 90. № 10. С. 1611–1612.
- Седельникова Т. С., Пименов А. В., Грабовой В. Н., Пономаренко В. А. Числа хромосом *Thuja occidentalis* (Cupressaceae) в Национальном дендрологическом парке «Софиевка», Украина // Бот. журн. 2014. Т. 99. № 8. С. 941–944.
- Седельникова Т. С., Пименов А. В., Онучин А. А., Янковская В. Числа хромосом некоторых видов хвойных в дендрариях и парковых насаждениях // Бот. журн. 2008. Т. 93. № 1. С. 157–158.
- Седельникова Т. С., Пименов А. В., Ташев А. Н. Числа хромосом видов Cupressaceae при интродукции в Болгарии // Бот. журн. 2011. Т. 96. № 7. С. 974–975.
- Центральный ботанический сад Пхеньяна, 2023. <https://dprktoday.com/abroad/news/31500>
- Ahuja M. R. Polyploidy in gymnosperms: revisited // Silvae Genet. 2005. V. 54. N. 2. P. 59–69.
- Le Duc A., Adams R. P., Zhong M. Using random amplification of polymorphic DNA for a taxonomic reevaluation of Pfitzer *Juniperus* // Hort Sci. 1999. V. 34. N. 6. P. 1123–1125.

- Muratova E. N., Sedel'nikova T. S., Karpyuk T. V., Vladimirova O. S., Pimenov A. V., Mikheeva N. A., Bazhina E. V., Kvitko O. V. Karyological and cytogenetic studies of conifers from West Siberia and Far East // *Contemp. Probl. Ecol.* 2008. V. 1. N. 2. P. 263–271 (Original Rus. Text © E. N. Muratova, T. S. Sedel'nikova, T. V. Karpyuk, O. S. Vladimirova, A. V. Pimenov, N. A. Mikheeva, E. V. Bazhina, O. V. Kvitko, 2005, publ. in *Sib. Ecol. Zhurn.* 2005. V. 12. N. 4. P. 573–583).
- Ohri D. Polyploidy in gymnosperms – a reappraisal // *Silvae Genet.* 2021. V. 70. N. 1. P. 22–38.
- Sedel'nikova T. S., Muratova E. N., Pimenov A. V. Variability of chromosome numbers in Gymnosperms // *Biol. Bull. Rev.* 2011. V. 1. Iss. 2. P. 100–109 (Original Rus. Text © T. S. Sedel'nikova, E. N. Muratova, A. V. Pimenov, 2010, publ. in *Usp. Sovr. Biol.* 2010. V. 130. N. 6. P. 557–568).
- Sequoia* & Kings Canyon National Parks. CA, USA, 2023. <https://www.visitsequoia.com>

## STUDIES ON CONIFER CHROMOSOMES UNDER INTRODUCTION IN BOTANICAL GARDENS, ARBORETUMS AND PARKS

T. S. Sedel'nikova, A. V. Pimenov, E. N. Muratova

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

E-mail: [tss@ksc.krasn.ru](mailto:tss@ksc.krasn.ru), [pimenov@ksc.krasn.ru](mailto:pimenov@ksc.krasn.ru), [elena-muratova@ksc.krasn.ru](mailto:elena-muratova@ksc.krasn.ru)

The information obtained by the authors during the karyological study on conifers growing in arboretums, parks, and botanical gardens from different countries is summarized. Representatives of two genera, pine (*Pinus* L.) and spruce (*Picea* A. Dietr.), have been studied in the Pinaceae family; these species have 24 chromosomes in diploid complement ( $2n = 24$ ). Seven species and one interspecific hybrid of pine and eight species of spruce were analyzed. In Cupressaceae family, five introduced species were studied, which are representatives of the genera thuja (*Thuja* L.), cypress (*Cupressus* L.), false cypress (*Chamaecyparis* Spach) and Sequoiadendron (*Sequoiadendron* J. Buchholz); karyotype of Cupressaceae representatives includes 22 chromosomes ( $2n = 22$ ). In species, forms and cultivars of conifers from Pinaceae and Cupressaceae families, which are under introduction, as well as being components of green plantations in settlements of different geographical regions, great variability of karyological features. There area variability of chromosome numbers (mixoploidy), changes in the morphology of chromosomes, an increase of the number of nucleolar loci, appearance of supernumerary chromosomes, a high occurrence and a wide range of chromosomes anomalies. The changes are probably caused by the acclimatization of plants in new growing conditions and adaptation to increased recreational load in park planting. They can cause an increase in phenotypic and genetic diversity. It should be taken into account during introduction and carrying out activities on breeding of conifer species. On the basis of the data obtained, problems of scientific, experimental production, educational and cultural significance can be solved, recommendations for the selection of species and intraspecific taxa suitable for landscaping settlements in a particular region can be developed.

**Keywords:** *Pinaceae, Cupressaceae, number of chromosome, karyotype, ploidy, genome and chromosome mutations, B-chromosomes, mixoploidy.*

**How to cite:** Sedel'nikova T. S., Pimenov A. V., Muratova E. N. Studies on conifer chromosomes under introduction in botanical gardens, arboretums and parks // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 5. P. 32–42 (in Russian with English abstract and references).