



# ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦИЙ И ЭВОЛЮЦИЯ

О.С. Владимирова,  
Е.Н. Муратова

Институт леса  
им. В.Н. Сукачева СО РАН,  
г. Красноярск

✿ Проведен кариологический анализ клеток меристемы хвоинок ели сибирской *Picea obovata* Ledeb. из природной популяции Козульского лесхоза (Красноярский край) и нескольких районов г. Красноярска.

Во всех городских насаждениях наряду с типичным числом хромосом ( $2n = 24$ ) были обнаружены 1–2 добавочные хромосомы ( $2n = 24 + 1B$ ;  $2n = 24 + 2B$ ).

В природной популяции В-хромосом не найдено. Обсуждается роль добавочных хромосом в адаптации вида в условиях антропогенного стресса промышленного города.

✿ **Ключевые слова:** В-хромосомы; ель сибирская; кариотип.

## КАРИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*PICEA OBOVATA* LEDEB.) В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ г. КРАСНОЯРСКА

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы особое внимание уделяется кариологическому и цитогенетическому изучению растений, в том числе и основных лесообразующих видов хвойных, в стрессовых условиях произрастания [4–7, 12, 27, 30, 33]. Термин «стресс» был предложен в 30-х годах прошлого века Г. Селье для млекопитающих для обозначения общей неспецифической нейрогормональной реакции организма на любое проявление экстремальных факторов. В настоящее время этот термин широко применяется ко всем живым организмам, в том числе и к растениям, и означает реакцию растения на действие стрессового фактора [13]. К стрессовым факторам относятся высокая и низкая температура, избыточное увлажнение, радиоактивное излучение, антропогенное загрязнение, воздействие промышленных выбросов, интродукция в новые условия обитания и многие другие. У растений, подвергшихся стрессу, отмечены многочисленные аномалии, такие как нарушения митозов, ядрышковых характеристик, хромосомные мутации, повышение частоты добавочных хромосом.

Для озеленения городов широко используется ель сибирская — *Picea obovata* Ledeb. — очень декоративный вид, имеющий много красивых форм. Наряду с эстетическим значением, еловые насаждения в значительной степени формируют бактерицидный газовый состав приземного слоя воздуха, а также выполняют функцию биологических фильтров атмосферы [2].

Этот вид является стабильным диплоидом с соматическим числом хромосом  $2n = 24$  и основным числом  $x = 12$ . В 20 популяциях этого вида из 40 изученных найдены добавочные или В-хромосомы —  $2n = 24 + 1-4B$  [3, 8–9, 11, 15–17, 19, 21, 24, 27, 30, 34, 36, 41]. Роль и происхождение В-хромосом до сих пор не выяснены. Некоторые авторы предполагают, что присутствие В-хромосом связано с повышенной адаптивностью растений, имеющих такие хромосомы [13–14; 18; 23; 31; 37]. Цель настоящей работы — провести кариологическое исследование ели сибирской в городских насаждениях и проверить предположение о повышенной встречаемости В-хромосом в условиях антропогенного стресса крупного промышленного города.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлась ель сибирская, произрастающая в природных и городских условиях. Естественная популяция была выбрана в 60 км от г. Красноярска на ж/д. платформе Вод-

раздел Козульского лесхоза Красноярского края. Были отобраны 25 растений близкого возраста со средним диаметром 11 см и средней высотой 10 м. Диаметр дерева определялся с помощью мерной вилки на высоте груди, как это принято в лесотаксационных исследованиях. Изучение кариотипа ели сибирской в городских условиях включало насаждения из пяти районов г. Красноярска: около Большого концертного зала (БКЗ), около автовокзала «Взлетка», в парке им. М. Горького, около здания театра юного зрителя (ТЮЗ), на острове Отдыха. В общей сложности было выбрано 44 растения ели сибирской примерно 10–15-летнего возраста. Растения имеют нормальный фенотип и в целом находятся в хорошем состоянии.

Кроме того, изучались 8 растений декоративных форм ели сибирской, произрастающих в дендрарии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН г. Красноярска. Они были отобраны в природе, а затем размножены вегетативным путем З.И. Лучник в дендрарии Института садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко (г. Барнаул), а затем привезены и высажены Р.И. Лоскутовым в мае 1977 г. В дендрарии представлено пять форм: *P. obovata* f. *seminskiensis* Lucznik — семирская форма; *P. obovata* f. *densifolia* Lucznik — длиннохвойная; *P. obovata* f. *lucifera* Lucznik — светящаяся; *P. obovata* f. *lutescens* Lucznik — желтая; *P. obovata* f. *pendula* Lucznik — плакучая. Всего в условиях города было изучено 52 растения.

Материалом для работы послужила молодая хвоя ели сибирской, собранная с отдельных растений. Хвоя была взята в разных частях кроны — в нижней, средней и верхней. В анализ брали хвоинки с 10 веток; анализировали по 100 пластинок с каждого дерева. Исследования проводили на меристематической ткани оснований хвои по принятым методикам для хвойных видов [19, 23]. Веточки с молодой хвоей выдерживали в 0,01 %-ном растворе колхицина в течение 2–3 сут.ок После этого пучки хвоинок отделяли, освобождали от покровных чешуй и фиксировали уксусным алкогolem (Фиксатор Кларка — 3 части этилового 96 %-ного спирта и 1 часть ледяной уксусной кислоты).

Для окрашивания материала использовали 1 %-ный ацетогематоксилин (1 г гематоксилина на 100 мл 45 %-ной уксусной кислоты). Перед окрашиванием проростки и пучки хвои протравливали 4 %-ными железоммонийными квасцами в течение 10–20 мин, затем их помещали в ацетогематоксилин. Иногда для ускорения окрашивания материал помещали в термостат при температуре 50–60 °С или нагревали над пламенем спиртовки. После

того как материал был окрашен, готовили временные препараты.

Отрезанное основание хвоинки (1,0–1,5 мм) помещали на предметное стекло в каплю насыщенного раствора хлоралгидрата. Затем препарат накрывали покровным стеклом и раздавливали меристему обратной стороной препаровальной иглы до равномерного распределения клеток. После этого спрессовывали покровное стекло с предметным плоским концом пинцета, одновременно удаляя излишек жидкости через фильтровальную бумагу. Временный препарат просматривался сразу после его приготовления. Если возникала необходимость сохранить препарат на более длительный срок, края покровного стекла обводили клеем (БФ, «Уран»).

Готовые препараты просматривали под микроскопом МБИ-6. Лучшие из них, с хорошим распределением и четкой окраской хромосом, фотографировали в иммерсионной системе при большом увеличении (объектив × 90) на пленку «Микрат-300». Отпечатки выполняли на нормальной черно-белой фотобумаге «Унибром 160».

Используемые реактивы: колхицин (Merck, Германия), гематоксилин (Hopkin & Williams LTD, Англия).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфометрический анализ хромосом ели сибирской из природной популяции в окрестностях с. Козулька Красноярского края был проведен нами ранее [8, 9]. А-хромосомы представлены следующими морфологическими типами: длинные метацентрики размером 12,5–16,5 мкм (I–VIII пары), длинные субметацентрики — 11,5–12,5 мкм (IX пара), короткие метацентрики — 10,5–11,5 мкм (X–XI пары), короткие субметацентрики — 9,5 мкм (XII пара). В-хромосомы хорошо отличаются от хромосом основного набора меньшими размерами, составляющими 25–30% от размера самых крупных А-хромосом (5–6 мкм). Добавочные хромосомы ели сибирской относятся к двум морфологическим типам — метацентрическому (тип  $V_1$ ) и субметацентрическому (тип  $V_2$ ).

При изучении семенного потомства в козульской популяции были обнаружены В-хромосомы [8, 9, 15]. В меристематических клетках молодой хвои взрослых растений из этой же популяции В-хромосомы не найдены (рис. 1). Очевидно, частота встречаемости добавочных хромосом очень низкая и необходимо изучение большего числа растений, чтобы их выявить.

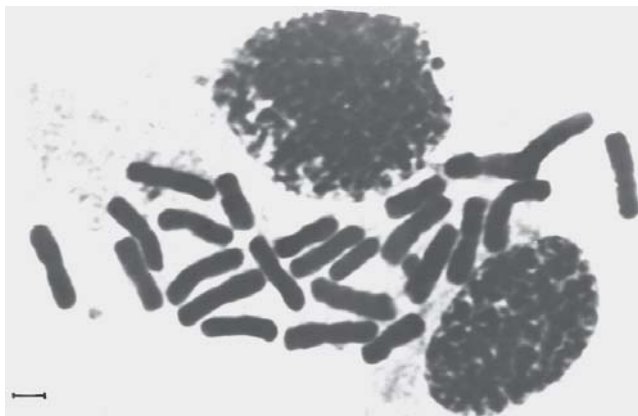


Рис. 1. Кариотип ели сибирской  $2n = 24$ . Об. 90х, ок. 10х. Масштабная линейка 5 мкм

Таблица

**Встречаемость В-хромосом у ели сибирской в естественных и городских условиях**

Место сбора материала	Количество изученных растений	Число хромосом (2n) и частота его встречаемости		
		24	24 + 1В	24 + 2В
<b>Городские насаждения</b>				
Дендрарий ИЛ СО РАН	8	5	2	1
Около здания БКЗ	10	4	6	—
Автовокзал «Взлетка»	6	3	3	—
Парк им. М. Горького	10	8	2	—
Около здания ТЮЗ	10	6	4	—
Остров отдыха	8	4	3	1
Всего:	52	30	20	2
<b>Естественная популяция</b>				
Платформа Водораздел (Козульский лесхоз)	25	25	—	—

В городских насаждениях, наоборот, добавочные хромосомы в количестве 1–2 обнаружены во всех изученных районах (таблица). Деревья, произрастающие в районах БКЗ, «Взлетки», парка и ТЮЗа, наряду с типичным кариотипом ( $2n = 24$ ), в некоторых случаях содержали одну В-хромосому метацентрического типа ( $2n = 24 + 1В_1$ ). В кариотипе ели сибирской из насаждений на о. Отдыха выявлены одна и две метацентрические В-хромосомы ( $2n = 24$ ;  $2n = 24 + 1В_1$ ;  $2n = 24 + 2В_1$ ). В-хромосомы, если они были у данного дерева,

встречались во всех изученных препаратах и во всех изученных клетках. Добавочные хромосомы  $В_1$ -типа ели сибирской из городских насаждений представлены на рис. 2, 3.

У декоративных форм ели сибирской из дендрария Института леса обнаружены добавочные хромосомы двух морфологических типов — мета- и субметацентрического ( $2n = 24$ ;  $2n = 24 + 1В_1$ ;  $2n = 24 + 1В_2$ ;  $2n = 24 + 1В_1 + 1В_2$ ). В-хромосомы выявлены во всех клетках, доступных для изучения. В общей сложности добавочные хромосомы отмечены в кариотипе почти половины изученных растений (42,3%). Полученные данные свидетельствуют о более широком распространении добавочных хромосом в насаждениях г. Красноярска по сравнению с естественной популяцией.

Интересные результаты были получены А.К. Буториной и Е.В. Богдановой [4] при кариологическом изучении *Picea glauca* (Moench.) Voss., произрастающей в центре г. Воронежа. Авторы обнаружили 1 В-хромосому в кариотипе 8 из 10 изученных растений и 1–2 В-хромосомы в семенном потом-

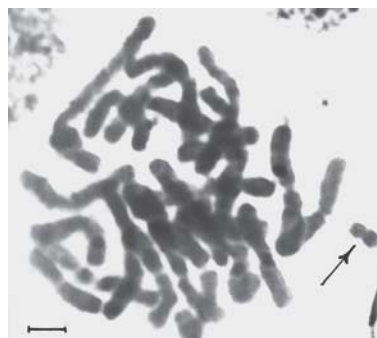


Рис. 2. В-хромосома в кариотипе ели сибирской (о. Отдыха)  $2n = 24 + 1В$ . Об. 90х, ок. 10х. Масштабная линейка 5 мкм

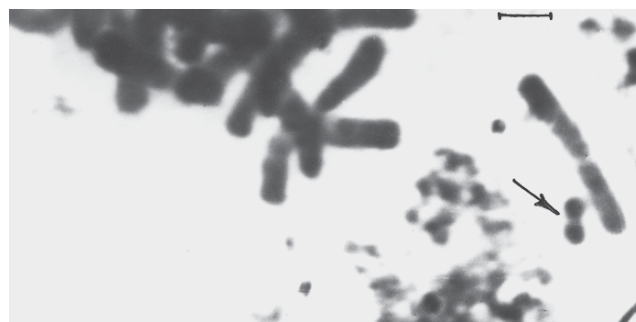


Рис. 3. Фрагмент метафазной пластинки ели сибирской (автовокзал «Взлетка») с В-хромосомой —  $2n = 24 + 1В$ . Об. 90х, ок. 10х. Масштабная линейка 5 мкм

стве этих деревьев. Отмечалось, что проростки семян, содержащие в своем кариотипе добавочные хромосомы, более жизнеспособные, а растения с добавочными хромосомами охарактеризованы авторами как фенотипически лучшие.

Ранее отмечалось, что наличие небольшого числа добавочных хромосом не влияет на фенотип растений, в том числе и у ели сибирской [3, 15, 32]. Однако в литературе имеются и противоположные данные об отличиях растений с добавочными хромосомами по некоторым морфологическим признакам листьев и стеблей, а также окраской семенной оболочки [18]. Например, растения кукурузы, содержащие более 4 В-хромосом, характеризовались наличием белых полос на листьях и/или узкими листьями. Причем этот фенотип усиливался с увеличением числа В-хромосом [42].

Известно, что наличие В-хромосом может влиять на процесс прорастания семян. Так, у *Picea glauca* семена, собранные с деревьев с В-хромосомами, прорастали в среднем на один день раньше [43]. Наши исследования, проведенные ранее [8], показали, что пыльца, собранная с деревьев ели сибирской с В-хромосомами, в первые сутки прорастала более интенсивно, чем у растений без них. Кроме того, у растений с добавочными хромосомами повышен процент пыльцы с аномальной морфологией.

Чтобы понять роль и значение добавочных хромосом, необходимо иметь представление об их происхождении. Согласно наиболее распространенной гипотезе, В-хромосомы возникли из А-хромосом в результате хромосомных перестроек (транслокаций, делеций, инверсий, фрагментаций, отчленений в области вторичной перетяжки), которые могут привести к образованию маленьких центрических сегментов, способных к самостоятельному существованию [3, 5, 20].

По мнению А.К. Буториной с соавт. [5], возникновение добавочных хромосом у хвойных может быть связано с особенностями их хромосомной структуры. Возможно, что хромосомы, кроме главной центромеры, имеют отдельные ее участки, вкрапленные по длине хромосом, т. е. центромера в определенной степени имеет диффузное строение. Это допускает возможность присутствия центромерных участков у делетированных районов хромосом. Блоки гетерохроматина, лишённые центромерных участков, элиминируются, а включающие их могут сохраняться в виде добавочных хромосом.

Имеющиеся материалы свидетельствуют, что В-хромосомы не являются генетически инертными и оказывают влияние на функционирование всего

генома. Установлено, что В-хромосомы чаще влияют на количественные признаки и подобны полигенам, а также играют регуляторную роль. Они затрагивают многие фундаментальные процессы, такие как длительность клеточного цикла, генетическая активность хромосом, влияют на содержание ДНК, РНК, гистонов, размеры клеток, частоту клеточных делений и т. д. [18, 25, 36, 38–40, 43].

Проведенные ранее исследования [9] показали, что при окраске хромосом азотнокислым серебром на В-хромосомах во всех случаях окрашивались яркие блоки в количестве от 1 до 4. Это дает возможность предположить присутствие в них ядрышковых организаторов, т. е. В-хромосомы, по-видимому, являются ядрышкообразующими. Вполне вероятно, что они функционально активны и, подобно нуклеолярным А-хромосомам, имеют определенное значение в регуляции биосинтетических процессов клетки.

Несмотря на то что В-хромосомы найдены у большого числа видов, как растений, так и животных, их роль до сих пор неизвестна. Большинство авторов, изучающих В-хромосомы, склоняются к тому, что они выполняют адаптивную роль [5, 7, 8, 16, 23, 28, 31, 38]. Недавно в В-хромосомах были обнаружены гены, влияющие на устойчивость к неблагоприятным факторам среды [35].

Имеются данные, что количество растений с добавочными хромосомами, а иногда и число В-хромосом в кариотипе увеличивается в экстремальных условиях и под действием стрессовых антропогенных факторов [14, 33]. При проведении цитогенетического мониторинга природных популяций обнаружено, что у некоторых видов они появились впервые после Чернобыльской катастрофы [12]. В таком случае они могут являться индикаторами неблагоприятия, не имеющими адаптивного значения. Хотя имеется и предположение, что В-хромосомы, возможно, являются внутриклеточными паразитами, возникшими из мобильных элементов, перемещающихся по геному, и содержат большое количество «бессмысленной» ДНК [26].

Настоящее исследование по добавочным хромосомам ели сибирской в условиях г. Красноярска и работа А.К. Буториной и Е.В. Богдановой [4] по В-хромосомам ели колючей в условиях г. Воронежа, подтверждают точку зрения тех авторов, которые считают, что добавочные хромосомы являются адаптивным элементом вида и обеспечивают устойчивость организмов при неблагоприятных воздействиях [20, 25]. Широкое распространение добавочных хромосом в городских посадках, высокая жизнеспособность сеянцев с В-хромосомами,

показывают целесообразность выделения таких сеянцев, как наиболее перспективных, для выращивания на загрязненных территориях. Это позволит создавать устойчивые к антропогенному загрязнению городские посадки ели.

Учитывая результаты настоящего исследования и данные, полученные другими авторами, можно предположить, что добавочные хромосомы каким-то образом связаны с повышенной адаптивностью растений к городским условиям. Имеющиеся материалы свидетельствуют о том, что популяции, содержащие растения с различным числом В-хромосом, оказываются более полиморфными и более приспособленными к изменению условий среды. Возможно, это способствует заселению новых экологических ниш. Вполне вероятно, что видоспецифическая система добавочных хромосом может повышать генетическую гетерогенность и адаптивные возможности вида [1, 3, 10, 18, 20, 25].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 03-04-49719, Интеграционного проекта СО РАН № 145, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН 12.1 «Научные основы сохранения биоразнообразия России», ОБН РАН (госконтракт по теме «Биоресурсы», программа «Динамика генофондов...»).

### Литература

1. Агапова Н.Д., Васильева М.Г. Кариосистематика // Итоги науки и техники. — М.: ВИНТИ, 1987. — Сер. Ботаника. — Т. 6: Современные методы систематики высших растений. — Вып. 1. — С. 96—137.
2. Бобров Р.В. Лесная эстетика. — М.: Агропромиздат, 1989. — 188 с.
3. Брока М.В. В-хромосомный полиморфизм в природных популяциях *Picea obovata* Ledeb. // Роль селекции в улучшении латвийских лесов. — Рига: Зинатне, 1990. — С. 105—118.
4. Буторина А.К., Богданова Е.В. Адаптивное значение и возможное происхождение В-хромосом у ели колючей // Цитология. — 2001. — Т. 43, № 8. — С. 809—814.
5. Буторина А.К., Калаев В.Н., Богданова Е.В. Цитогенетические механизмы адаптации видов растений-интродуцентов // Проблемы эволюционной цитогенетики, селекции и интродукции: Матер. науч. чтений, посвящ. 100-летию проф. В.П. Чехова. — Томск, 1997. — С. 19—21.
6. Буторина А.К., Калаев В.Н., Вострикова Т.В., Мяжкова О.Е. Цитогенетическая характеристика семенного потомства некоторых видов древесных растений в условиях антропогенного загрязнения г. Воронежа // Цитология. — Т. 42, № 2. — С. 196—201.
7. Буторина А.К., Калаев В.Н., Карпова С.С. Особенности протекания митоза и ядерышковые характеристики семенного потомства березы повислой в условиях антропогенного загрязнения. // Цитология. — 2002. — Т. 44, № 4. — С. 392—399.
8. Владимиров О.С. Добавочные хромосомы хвойных (на примере представителей рода *Picea* A.) Dietr.): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Красноярск, 2002а. — 23 с.
9. Владимиров О.С. Кариологические особенности ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) из разных мест произрастания // Цитология — 2002б. — Т. 44, № 7. — С. 712—718.
10. Волобуев В.Т. В-хромосомы млекопитающих // Усп. соврем. биол. — 1978. — Т. 86, Вып. 3 (6). — С. 387—398.
11. Гашева Н.А. Особенности кариотипа ели сибирской на Среднем Урале // В кн. «Проблемы взаимодействия человека и природной среды». — Тюмень, 2003. — Вып. 4. — С. 138—141.
12. Дмитриева С.А., Парфенов В.И., Давидчик Т.О. Цитогенетический мониторинг природных популяций растений в связи с воздействием выбросов Чернобыльской катастрофы // Цитология. — 1999. — Т. 41, № 12. — С. 1062—1063.
13. Жученко А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). — М.: Агрорус, 2001. — Т. 1, 2. — 1491 с.
14. Кикнадзе И.И., Истомина А.Г., Салова Т.А. Функциональная морфология политеменных хромосом хирономиды *Chironomus pilicornis* F. из водоемов криолитозоны // Цитология. — 2002. — Т. 44, № 1. — С. 89—96.
15. Круклис М.В. Кариологические особенности *Picea obovata* // Лесоведение. — 1971. — № 2. — С. 75—84.
16. Круклис М.В. Цитогенетическое изучение В-хромосом ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) // Лесоселекционные исследования: Тез. межресп. совещ. — Рига, 1978. — С. 15—18.
17. Медведова Н.С., Муратова Е.Н. Особенности ядрышкообразующих хромосом ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) // Цитол. и генет. — Киев, 1989. — 11 с. — Деп. в ВИНТИ 11.09.89 г., № 5740-13.89.
18. Мошкович А.М. Добавочные хромосомы покрытосеменных растений. — Кишинев: Штиинца, 1979. — 163 с.
19. Муратова Е.Н. Кариосистематика семейства *Pinaceae* Lindl. Сибири и Дальнего Востока: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — Новосибирск, 1995. — 32 с.
20. Муратова Е.Н. В-хромосомы голосеменных // Усп. соврем. биол. — 2000. — Т. 120, № 5. — С. 452—465.
21. Муратова Е.Н., Владимиров О.С. Добавочные хромосомы кариотипа ели сибирской *P. obovata* // Цитология и генетика. — 2001. — № 4. — С. 38—44.
22. Муратова Е.Н., Владимиров О.С., Карпук Т.В., Седельникова Т.С. Добавочные хромосомы и их распространение у видов рода *Picea* A. Dietr. // Лесная генетика и селекция на рубеже тысячелетий: Матер. науч.-практ. конф. — Воронеж, 2002. — С. 126—140.
23. Правдин Л.Ф., Бударягин В.А., Круклис М.В., Шершуква О.П. Методика кариологического изучения хвойных пород // Лесоведение. — 1972. — № 2. — С. 67—75.
24. Правдин Л.Ф., Шершуква О.П., Абагурова Г.А. Кариологические исследования хвойных древесных пород // Научные основы селекции хвойных пород. — М.: Наука, 1978. — С. 35—65.
25. Прокофьева-Бельговская А.А. Гетерохроматические районы хромосом. — М.: Наука, 1986. — 431 с.
26. Рубцов Н.Б., Бородин П.М. Эволюция хромосом: от А до В и обратно // Природа. — 2002. — № 3. — С. 59—66.
27. Седельникова Т.С., Муратова Е.Н., Ефремов С.П. Кариологические особенности видов хвойных на болотах и суходолах Западной Сибири // Kylovia. — 2000. — Т. 2, № 1. — С. 73—80.
28. Шишин М.Т., Рубцов Н.Б., Карамышева Т.В., Катохин А.В., Карагодин Д.А., Кикнадзе И.И. // Цитология. — 2003. — Т. 45, № 6. — С. 582—589.
29. Фарушкина Г.Г., Путенихин В.П., Бахтиярова Р.М. Кариотипическая изменчивость ели сибирской на Южном Урале // Лесоведение. — 1997. — № 2. — С. 78—84.
30. Цитленок С.И., Козлова А.А., Пулькина С.В., Абакумова Н.Н. Цитогенетический мониторинг *Allium sera* L. в агропопуляциях Томской области // Проблемы эволюционной цитогенетики, селекции и интродукции: Матер. науч. чтений, посвящ. 100-летию проф. В.П. Чехова. — Томск, 1997. — С. 82—85.
31. Цитленок С.И., Пулькина С.В. Адаптивное значение полиморфизма по В-хромосомам у некоторых сложноцветных // V съезд ВОГИС им. Н.И. Вавилова: Тез. докл. — М., 1987. — Т. 1. — С. 292—293.

32. Цитленок С.И., Пулькина С.В. Анализ цитогенетической структуры популяций некоторых сложноцветных // Генетические механизмы устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды: Тез. докл. Всесоюз. конф. — Новосибирск, 1991. — С. 51.
33. Цитленок С.И., Пулькина С.В. Использование *Centaurea scabiosa* L. и *Crepis sibirica* L. в качестве тест-объектов при оценке загрязненности окружающей среды // Проблемы эволюционной цитогенетики, селекции и интродукции: Матер. науч. чтений, посвящ. 100-летию проф. В.П. Чехова. — Томск, 1997. — С. 80–82.
34. Шершуква О.П. Кариотип ели сибирской *Picea obovata* Ledeb. популяции Алтая // Научные основы селекции хвойных древесных пород. — М.: Наука, 1978. — С. 82–86.
35. Camacho J.P.M., Sharbel T.F., Beukebun L.W. B-chromosome evolution // Phil. Trans. Roy. Soc. London. — 2000. — Vol. 355. — P. 163–178.
36. Fox D.P. The chromosome of *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. and its relatives // Proc. Royal Soc. Edinburgh. Ser. B. — Biological Sciences. — 1987. — Vol. 93, N 1–2. — P. 51–59.
37. Hizume M., Kishimoto K., Tominaga K., Tanaka A. Presence of B-chromosome in *Picea glehnii* (Pinaceae) // Kromosomo. — 1988. — II, N 51–52. — P. 1715–1720.
38. Jones R.N., Rees H. B-chromosomes. — London; N. Y.; Paris: Acad. Press, 1982. — 266 p.
39. Kean V.M. Studies on the supernumerary B-chromosomes in Sitka spruce // Forestry Abstrs. — 1982. — Vol. 43, N 10. — P. 602–603.
40. Kean V.M., Fox D.P., Faulkner R. The accumulation mechanism of the supernumerary (B-) chromosome in *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. and the effect of this chromosome on male and female flowering // Silvae Genet. — 1982. — Bd 31, Hf. 4. — P. 126–131.
41. Muratova E.N., Sedelnikova T.S. Karyotype variability and anomalies in populations of conifers from Siberia and the far east // Cytogenetics studies of Forest Trees and Shrubs. Review, Present Status, and Outlook of the Future: Proc. of the 2-nd IUFRO Cytogenet. Working Party S2.04.08 Symp. Forest Genetics, special issue. — Graz, 2000. — P. 129–141.
42. Staub R.W. Leaf striping correlated with the presence of B chromosomes in maize // Heredity. — 1987. — Vol. 78, N 2. — P. 71–74.
43. Teoh S.B., Rees H. B-chromosomes in White spruce // Proc. Roy. Soc. London. — 1977. — Vol. 198, N 1133. — P. 325–344.

**Karyological Features of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) under Anthropogenic Contamination Conditions of Krasnoyarsk**

Vladimirova O.C., Muratova E.N.  
V.N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Krasnoyarsk

✿ **SUMMARY:** Results of karyological study of Siberian spruce from natural population and some districts of Krasnoyarsk are presented. Except typical chromosome number ( $2n = 24$ ) most trees from city have one or two B-chromosomes ( $2n = 24 + 1B$ ;  $2n = 24 + 2B$ ). In natural population all trees have only  $2n = 24$ . System of B-chromosomes is of importance for population and species adaptation and possibly plays role for adaptation of *P. obovata* in condition of anthropogenic contamination.

✿ **KEY WORDS:** B-chromosomes; Siberian spruce; chromosome number.