

УДК 575 : 630.17

## ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОРОСТКОВ БЕРЁЗЫ ПОВИСЛОЙ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

**Т. В. Баранова**

Воронежский государственный университет,  
Российская Федерация, 394036, Воронеж, Университетская пл., 1  
E-mail: tanyavostric@rambler.ru

*Приведены результаты изучения цитогенетических реакций проростков берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.), полученных из семян, собранных в районах г. Воронежа и на пригородной территории с разным уровнем антропогенного загрязнения. Установлено, что при слабой степени загрязнения среды митотический индекс (МИ) составляет 9 %, а доля цитогенетических нарушений (ЦН) – 4,2 %. В районах с сильной степенью загрязнения МИ колеблется от 8,6 до 10,5 %, а доля ЦН – от 8,9 до 9,3%. Семенное потомство из относительно экологически чистого района отличается от контроля по цитогенетическим характеристикам: более низкому митотическому индексу и статистически большему числу нарушений деления.*

**Ключевые слова:** загрязнение среды; берёза повислая; проростки; патологии митоза; цитогенетические нарушения.

**Введение.** В связи с усилением загрязнения окружающей среды продуктами антропогенной деятельности на локальном и глобальном уровнях остро встаёт вопрос о его влиянии на биоту, в том числе на древесные растения, которые в урбоэкосистемах являются мощными фитофильтрами, очищая городской воздух от различных токсических веществ. В таком аспекте актуальной является задача изучения цитогенетических показателей семенного потомства растений, которые отражают состояние их генетического аппарата и могут быть использованы в экологическом мониторинге [1–8], а также в решении задач сохранения биоразнообразия, лесоразведения и лесовосстановления.

**Цель** работы состояла в изучении цитогенетических реакций семенного потомства берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.), которая широко используется для озеленения многих городов России, собранного в районах с разным уровнем

антропогенного загрязнения, и оценке возможности использования цитогенетических показателей в экологическом мониторинге городских территорий.

**Материал и методы.** Сбор семян берёзы повислой производили с фенотипически нормальных четырёх-пяти деревьев 25–30-летнего возраста, не имевших видимых следов повреждения вредителями и болезнями, как в антропогенно загрязнённом Левобережном районе г. Воронежа (вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук» и на ул. Ленинградской в 1 км от него), так и в относительно экологически чистом Центральном (на ул. Платонова), а также в дачном посёлке Репное, находящемся в 10 км от города. В качестве контроля использовали семенное потомство пяти деревьев, произраставших на территории Усманского бора (район биостанции ВГУ «Веневитиново»), где, по данным исследователей [9, 10], уровень загрязнения поллютантами не превышает ПДК.

© Баранова Т. В., 2015.

**Для цитирования:** Баранова Т. В. Цитогенетические изменения проростков берёзы повислой при загрязнении городской среды // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 77-82.

Материалом для цитологического изучения служили корневые меристемы проростков семян, которые по сравнению с вегетативными органами взрослых деревьев более чутко реагируют на изменение концентрации химических элементов в почве и как следствие этого несут геномные мутации и хромосомные aberrации. Фиксацию, окрашивание корешков пророщенных семян и приготовление постоянно-давленных микропрепаратов проводили по ранее разработанной методике [1–6]. В каждом варианте опыта было проанализировано семь микропрепаратов, на которых учитывали общее количество клеток, число делящихся клеток, находящихся в той или иной стадии митоза, количество клеток с цитогенетическими нарушениями (ЦН), к числу которых относили патологии митоза и клетки с остаточными ядрышками (ОЯ). В пик митотической активности определяли митотический индекс (МИ, %) и долю ЦН от общего числа делящихся клеток, а также оценивали характер распределения числа клеток по фазам митоза. При подсчёте МИ и анализе данных большое значение имеет количество клеток на стадии профазы, поскольку ряд неблагоприятных факторов среды способствует задержке

клеток в профазе, не допуская их перехода к последующим стадиям. Поэтому при анализе МИ учитывали изменение его значений с учётом и без учёта профазы.

Обработку полученного цифрового материала проводили на ПК с использованием статистических пакетов Excel и Statistica. При сравнении выборок по МИ и доле клеток на разных стадиях митоза использовали параметрический t-критерий Стьюдента, а при сравнении уровня ЦН – непараметрические критерии Уилкоксона (U-критерий) и Ван-дер-Вардена (X-критерий). Для оценки степени сходства биотопов между собой использовали коэффициент Жаккара [11] и кластерный анализ [12].

**Результаты и обсуждение.** Исследования показали, что загрязнение окружающей среды привело к существенным изменениям значений всех цитогенетических показателей проростков берёзы повислой, которые оказались наиболее высокими у деревьев, растущих на ул. Ленинградская (табл. 1). Это связано, возможно, с высокой концентрацией в почвах этого района г. Воронежа загрязняющих веществ, выбрасываемых не только предприятием «Воронежсинтезкаучук», но ещё и автотранспортом.

Таблица 1

**Сравнительная характеристика цитогенетических показателей проростков берёзы повислой в районах с различным уровнем загрязнения среды**

Район сбора образцов	Доля ЦН, %	Доля профаз, %	Митотический индекс, %	
			с учётом стадии профазы	без учёта стадии профазы
1. Веновитиново (контроль)	1,1 ± 1,1	28,6 ± 4,7	7,7 ± 0,4	5,5 ± 0,5
2. пос. Репное	3,6 ± 0,8*	25,5 ± 1,5	5,8 ± 0,4**	4,3 ± 0,3
3. ул. Платонова	4,2 ± 0,4**	37,2 ± 1,8**	9,0 ± 0,2**	5,6 ± 0,2
4. ул. Ленинградская	9,3 ± 1,7**	48,0 ± 6,3*	10,5 ± 0,9*	6,3 ± 0,9*
5. ОАО «Воронежсинтезкаучук»	8,9 ± 0,5**	30,2 ± 1,8	8,6 ± 0,2*	6,0 ± 0,2

Различия с контролем достоверны: \* p < 0,05, \*\* p < 0,01.

Больше всего загрязнение среды оказало влияние на долю ЦН, которая увеличилась вблизи предприятия в 8–8,5 раза по сравнению с контрольным участком. Спектр ЦН всех проростков берёзы представлен отставанием хромосом в анафазе и метакинезе, фрагментацией, агглютинацией хроматина, мостами в анафазе и наличием остаточного ядрышка. Значительное увеличение последнего из ЦН наблюдалось у проростков семян, собранных на ул. Ленинградской и в районе ОАО «Воронежсинтезкаучук». В этих точках были также отмечены клетки с вакуолизированной цитоплазмой, что свидетельствует о деградиационных процессах в клетке. Значения остальных цитогенетических показателей возросли по сравнению с минимальными, которые отмечены у потомства берёзы из пос. Репное, всего в 1,5–1,9 раза. У проростков из семян, со-

бранных возле пос. Репное, в спектре ЦН доминирует (69,2 %) наличие остаточного ядрышка при делении. У семенного же потомства, собранного на ул. Платонова, количество клеток с остаточными ядрышками было значительно меньше (21,5 %), а большую часть ЦН составляли патологии митоза.

Значения всех изученных нами цитогенетических показателей довольно тесно коррелируют между собой (табл. 2). Особенно тесная связь между долей профазы и МИ с учётом стадии профазы, а также МИ, оценёнными с учётом и без учёта стадии профазы, которая не является линейной, а аппроксимируется полиномом (рис. 1). Слабее всех коррелирует с остальными цитогенетическими показателями доля ЦН, которая несёт качественно иную информацию о происходящих изменениях.

Таблица 2

**Матрица коэффициентов корреляции между цитогенетическими показателями проростков берёзы**

Цитогенетический показатель	Значение коэффициента корреляции между показателями			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1. Доля ЦН	1,00			
2. Доля профаз	0,60	1,00		
3. МИ с учётом стадии профазы	0,64	0,91	1,00	
4. МИ без учёта стадии профазы	0,64	0,72	0,94	1,00

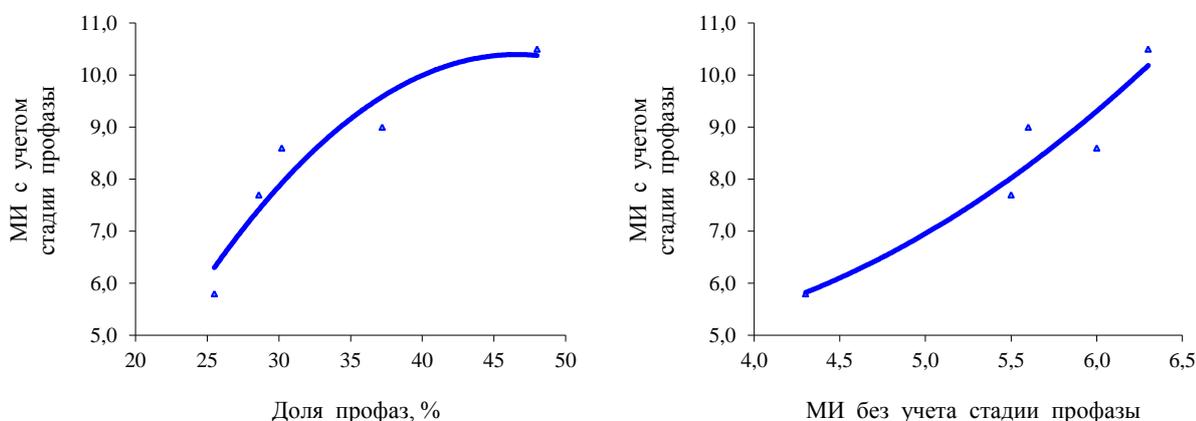
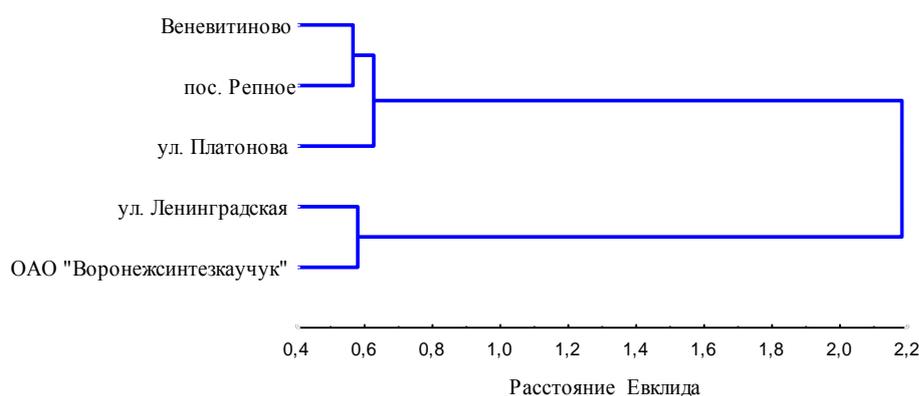


Рис. 1. Характер взаимосвязей между различными цитогенетическими показателями у проростков берёзы повислой

Таблица 3

**Матрица коэффициентов сходства различных по загрязнению районов, вычисленных по комплексу нормированных значений цитогенетических показателей проростков берёзы**

Район сбора образцов	Значение коэффициента сходства Жаккара между районами				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
1. Вeneвeтитиново (контроль)	1,00				
2. пос. Репное	0,71	1,00			
3. ул. Платонова	0,61	0,73	1,00		
4. ул. Ленинградская	0,44	0,52	0,72	1,00	
5. ОАО «Воронежсинтезкаучук»	0,44	0,52	0,67	0,84	1,00



*Рис. 2. Дендрограмма сходства различных по загрязнению районов г. Воронежа, построенная способом Варда по матрице нормированных цитогенетических показателей*

Расчёты показали, что потомство берёзы из всех пяти исследованных нами районов существенно различается между собой по комплексу цитогенетических показателей (табл. 3). Особенно сильно отличается от контрольного участка потомство с наиболее загрязнённых территорий, образующее чётко обособленный кластер (рис. 2). Экологическую обстановку в районе пос. Репное можно оценить как относительно безопасную, где уровень ЦН, а следовательно, и уровень загрязнения немногим выше, чем на контрольном участке. В Центральном районе г. Воронежа на ул. Платонова отмечается невысокий уровень ЦН, свидетельствующий о слабой степени загрязнения среды. Наиболее велики ЦН в Левобережном районе г. Воронежа, где среда сильно загрязнена продуктами антропогенной деятельности.

### **Выводы**

1. Загрязнение окружающей среды приводит к существенным изменениям

значений всех цитогенетических показателей у проростков берёзы повислой, особенно на долю цитогенетических нарушений.

2. Значения всех цитогенетических показателей довольно тесно коррелируют между собой. Особенно тесная связь между долей профаз и митотическим индексом, которая является нелинейной. Слабее всех коррелирует с остальными цитогенетическими показателями доля цитогенетических нарушений, которая несёт качественно иную информацию о происходящих изменениях семенного потомства берёзы повислой.

3. Цитогенетические показатели проростков берёзы повислой, особенно доля цитогенетических нарушений, могут быть с успехом использованы как для оценки её семенного потомства, так и в экологическом мониторинге совместно с другими показателями для оценки воздействия загрязнения окружающей среды на биоту.

## Список литературы

1. *Vostrikova, T. V.* The Cytology of Mitosis in Weeping Birch (*Betula pendula* Roth) / T.V. Vostrikova // *Cytology*. – 1999. – Vol. 41, № 12. – P. 1058.
2. *Вострикова, Т. В.* Мониторинговые исследования естественных и измененных эколого-геологических систем / Т.В. Вострикова // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: Геология. – 2003. – № 2. – С. 241-243.
3. *Вострикова, Т. В.* Изучение суточной митотической активности у березы повислой / Т.В. Вострикова, А.К. Буторина // *Цитология*. – 2004. – Т. 46, № 6. – С. 520-524.
4. *Vostrikova, T. V.* Cytogenetic Responses of Birch to Stress Factors / T.V. Vostrikova, A.K. Butorina // *Biology Bulletin*. – 2006. – Vol. 33, № 2. – Pp. 185-190.
5. *Vostrikova, T. V.* Instability of Cytogenetic Parameters and Genome Instability in *Betula pendula* Roth. / T.V. Vostrikova // *Russian Journal of Ecology*. – 2007. – Vol. 38, № 2. – Pp. 80-84.
6. *Вострикова, Т. В.* Эколого-физиологическая реакция семенного потомства древесных растений на стресс / Т.В. Вострикова // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: География. Геоэкология. – 2010. – № 1. – С. 87-91.
7. *Kalaev, V. N.* The Influence of Air pollution on Cytogenetic Characteristics of Birch Seed Progeny / V.N. Kalaev, S.S. Karpova // *Forest Genetics*. – 2003. – Vol. 10, № 1. – Pp. 11-18.
8. *Kalaev, V. N.* Cytogenetic Characteristics of Weeping Birch (*Betula pendula* Roth) Seed Progeny in Different Ecological Conditions / V.N. Kalaev, S.S. Karpova, V.G. Artyukhov // *Bioremediation, biodiversity & bioavailability*. – 2010. – Vol. 4, № 1. – Pp. 77-83.
9. *Джувеликян, Х.А.* Экологическое состояние лесного массива пригородной зоны г. Воронежа / Х.А. Джувеликян, В.В. Говоров, Л.А. Маслова // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2008. – № 2. – С. 95-103.
10. Доклад о состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности городского округа г. Воронежа в 2009 году. – Воронеж: ВГУ, 2010. – 78 с.
11. *Миркин, Б. М.* Толковый словарь современной фитоценологии / Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг. – М.: Наука, 1983. – 134 с.
12. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж. О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

Статья поступила в редакцию 12.02.15.

## Информация об авторе

*БАРАНОВА Татьяна Валентиновна* – кандидат биологических наук, научный сотрудник Ботанического сада, Воронежский государственный университет. Область научных интересов – экология, цитология, ботаника, интродукция. Автор 100 публикаций.

UDC 575 : 630.17

## CYTOGENETIC CHANGES OF BETULA PENDULA SPROUTS WHEN ENVIRONMENT POLLUTION

*T. V. Baranova*

Voronezh State University,  
1, Universitetskaya Sq., Voronezh, 394036, Russian Federation  
E-mail: tanyavostric@rambler.ru

**Keywords:** environment pollution; European white birch (*Betula pendula*); sprouts; mitosis pathology; cytogenetic distortions.

## ABSTRACT

The results of study of European white birch (*Betula pendula* Roth.) sprouts cytogenetic responses are given. The sprouts were obtained from the seeds, taken in Voronezh and its suburb (different level of man-made pollution). It was shown that environment pollution provoked significant changes of all the cytogenetic characteristics of European white birch (*Betula pendula* Roth.) sprouts. It particularly concerns cytogenetic distortions. It was determined that in case of low environment pollution, mitotic index was 9 %, and the share of cytogenetic distortions was 4,2 %. In the area of high environment pollution, mitotic index is 8,6 - 10,5 %, and the share of cytogenetic distortions is 8,9 - 9,3%. Figures of all the cytogenetic distortions are closely correlated with each other. There is particularly strong correlation between the share of prophase and the mitotic index, which is nonlinear. Cytogenetic distortions, which include another information about European white birch seed generation changes, are the least correlated with cytogenetic characteristics. Cytogenetic characteristics of European white birch (*Betula pendula*) sprouts (share of cytogenetic distortions in particular), may be successfully used in assessing seed generation, together with other characteristics to estimate environment pollution influence on the biota.

## REFERENCES

1. Vostrikova T. V. The Cytology of Mitosis in Weeping Birch (*Betula pendula* Roth). *Cytology*. 1999. Vol. 41, № 12. P. 1058.
2. Vostrikova T. V. Monitoringovyе issledovaniya estestvennykh i izmenennykh ekologo-geologicheskikh sistem [Monitoring Researches of Natural and Changed Ecologo-Geological Systems]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*. [Vestnik of Voronezh State University. Series: Geology]. 2003. № 2. Pp. 241-243.
3. Vostrikova T. V., Butorina A.K. Izuchenie sutochnoy mitoticheskoy aktivnosti u berezy povisloy [Study of Daily Mitotic Activity of European White Birch]. *Tsitologiya* [Cytology]. 2004. Vol. 46, № 6. Pp. 520-524.
4. Vostrikova T. V., Butorina A.K. Cytogenetic Responses of Birch to Stress Factors. *Biology Bulletin*. 2006. Vol. 33. № 2. Pp. 185-190.
5. Vostrikova T. V. Instability of Cytogenetic Parameters and Genome Instability in *Betula pendula* Roth. *Russian Journal of Ecology*. 2007. Vol. 38, № 2. Pp. 80-84.
6. Vostrikova T. V. Ekologo-fiziologicheskaya reaktsiya semennogo potomstva drevesnykh rasteniy na stress [Ecological and physiological Response of Seed Posterity of Woody Plants on Stress]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. [Vestnik of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]. 2010. № 1. Pp. 87-91.
7. Kalaev V. N., Karpova S.S. The Influence of Air pollution on Cytogenetic Characteristics of Birch Seed Progeny. *Forest Genetics*. 2003. Vol. 10. № 1. Pp. 11-18.
8. Kalaev V. N., Karpova S.S., Artyukhov V.G. Cytogenetic Characteristics of Weeping Birch (*Betula pendula* Roth) Seed Progeny in Different Ecological Conditions. *Bioremediation, biodiversity & bioavailability*. 2010. Vol. 4. № 1. Pp. 77-83.
9. Dzuvelikyan Kh.A., Govorov V.V., Maslova L.A. Ekologicheskoe sostoyanie lesnogo massiva prigorodnoy zony g. Voronezha. [Forests Ecology in the Suburb of Voronezh]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. [Vestnik of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]. 2008. № 2. Pp. 95-103.
10. Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodookhrannoy deyatel'nosti gorodskogo okruga g. Voronezha v 2009 godu [Report on Environment and Environmental Activity in Voronezh in 2009]. Voronezh: VSU, 2010. 78 p.
11. Mirkin B. M., Rosenberg G.S. Tolkovyy slovar sovremennoy fitotsenologii [Dictionary on Modern Phytosociology]. Moscow: Nauka, 1983. 134 p.
12. Kim G.O., Muller Ch.U., Klekka U.R., et al. *Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz* [Factor, Discriminative and Cluster Analysis.]. Moscow: Finansy i statistika, 1989. 215 p.

The article was received 12.02.15.

**Citation for an article:** Baranova T. V. Cytogenetic changes of *betula pendula* sprouts when environment pollution. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 2 (26). Pp. 77-82.

#### Information about the author

*BARANOVA Tatiana Valentinovna* – Candidate of Biological Sciences, Research at the Botanical Garden, Voronezh State University. Research interests – ecology, cytology, botany, introduction. The author of 100 publications.