

Качество пыльцы сосны обыкновенной и цитогенетические изменения у ее семенного потомства как показатели влияния техногенно загрязненной среды Криворожья

И. И. КОРШИКОВ¹, Е. В. ЛАПТЕВА², Ю. А. БЕЛОНОЖКО¹

¹ Донецкий ботанический сад НАН Украины
83059, Донецк, просп. Ильича, 110
E-mail: dbsgenetics@gmail.com

² Криворожский ботанический сад НАН Украины
50089, Кривой Рог, ул. Маршала, 50
E-mail: botgard@ukpost.ua

Статья поступила 07.05.2014

Принята к печати 25.06.2014

АННОТАЦИЯ

Изучено качество пыльцы и цитогенетические изменения у проростков семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих на железорудном отвале вблизи крупного металлургического комбината, в дендрарии ботанического сада г. Кривой Рог, в сравнении с растениями лесничества Тернопольской области, где отсутствует загрязнение среды. Установлено, что у растений криворожских насаждений доля пыльцы с отклонениями в развитии выше в 3–4 раза, с аномалиями пыльцевых трубок проросшей пыльцы – в 4,5–18,2 раза, а цитогенетических нарушений в делящихся клетках корешков проростков семян – в 2–4,2 раза.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris*, пыльца, семена, цитогенетические изменения, Криворожье.

Загрязнение окружающей среды в крупных промышленных регионах, таких как Криворожье, является экологически действенным фактором для многих живых организмов. В этом регионе на относительно небольшой площади сосредоточено пять крупнейших в Европе горнодобывающих и перерабатывающих железную руду комбинатов, а также мощный металлургический завод. В результате их деятельности в атмосферу выбрасываются сотни тысяч тонн токсичных газов, аэрозолей и пыли (в 2006 г. валовый

объем выбросов составил 577 тыс. т), а добыча руды приводит к отсыпке вскрышных пород в отвалы, занимающие 7 тыс. га [Лысый и др., 2007]. Высаживаемым на этих отвалах и возле промышленных производств древесным растениям приходится в ходе онтогенеза приспособляться к влиянию неблагоприятных природно-климатических условий степной зоны и действию загрязнителей воздуха и почвы. Влияние стрессовых условий окружающей среды на древесные растения нередко определяют по изменению их ре-

продуктивных показателей [Третьякова, 1990; Коршиков, 1996]. Для биоиндикационной оценки состояния среды и самих растений, чаще всего хвойных, используют показатели качества их пыльцы [Осколков, 1999; Третьякова, Носкова, 2004]. На примере четырех насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в г. Красноярске в ходе 10-летних исследований показано, что аэрополлютанты оказывают значительное влияние на морфометрические характеристики пыльцы, ее жизнеспособность, способствуют возрастанию количества аномалий пыльцевых зерен и трубок [Носкова, Третьякова, 2011]. Снижение качества пыльцы хвойных в техногенных условиях приводит к потере урожая шишек, понижению семенной продуктивности и качества семян хвойных [Коршиков и др., 2002; Носкова, Третьякова, 2006]. В ряде исследований допускается, что климатические и географические факторы могут оказывать более сильное влияние на генеративную сферу хвойных, чем техногенно загрязненная среда [Носкова, 2005; Владимирова и др., 2008].

Высокий уровень загрязнения окружающей среды в Криворожье, который по мнению отдельных авторов привел к формированию региональной зоны экологического бедствия [Лысый и др., 2007], диктует необходимость цитогенетического мониторинга для оценки генотоксических эффектов влияния химических и физических агентов. Цитогенетические нарушения у живых организмов часто становятся базовыми элементами комплексного интегрального экологического мониторинга окружающей среды в крупных промышленных регионах. В качестве тест-объектов нередко применяют семена хвойных, изучая в их проростках патологии митоза, хромосомные aberrации и ядрышковую активность [Буторина, Калаев, 2000; Калашник, 2008; Пардаева и др., 2013]. Логично сопоставить уровень снижения качества пыльцы и уровень цитогенетических аномалий у семян одних и тех же растений, произрастающих в контрастных условиях техногенно загрязненной среды. Если привлечь в такую схему исследований растения с экологически благополучных территорий, где отсутствует техногенное загрязнение, можно выяснить фоновый уровень искомых из-

менений, который обычно рассматривают как контрольный. Такие сравнительные исследования необходимы для выяснения параметров или показателей, определяющих остроту реакции растений в зависимости от экстремальности условий произрастания.

Цель исследований – сравнительный анализ качества пыльцы и цитогенетических изменений у проростков семян *P. sylvestris* из насаждений экологически безопасного района и техногенно загрязненных территорий Криворожья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований использовали пыльцу и семена сосны обыкновенной (*P. sylvestris*) из насаждений, произрастающих в дендрарии Криворожского ботанического сада НАН Украины (КБС), вблизи Криворожского металлургического комбината (КМК) и на крупном Первомайском железорудном отвале (ПЖО), а также в Кременецком лесничестве Тернопольской области (КЛ).

Растения из Кременецкого лесничества рассматривали как условно контрольные, так как здесь отсутствует техногенное загрязнение среды. Растения дендрария КБС в определенной степени испытывают воздействие выбросов крупнейшего Северного горнообогатительного комбината, так как дендрарий расположен в 3 км от этого предприятия.

Пыльцу собирали в период массового пыления 2013 г. На микропрепаратах определяли морфометрические показатели тела пыльцевого зерна и воздушного мешка, измеряли микрометром их высоту и длину, выявляли спектр и количество аномальных пыльцевых зерен. Содержание крахмала в пыльце определяли в растворе Люголя по интенсивности окрашивания. Жизнеспособность пыльцы устанавливали, проращивая ее в 15%-ном растворе сахарозы при температуре 26 °С, через семь дней учитывали число проросших пыльцевых зерен (%). У проросшей пыльцы измеряли длину пыльцевых трубок (мкм). Фертильность пыльцы анализировали с применением ацетокарминового метода [Паушева, 1988].

Для цитогенетических исследований выбрали такие показатели: патологии митоза, хромосомные aberrации, ядрышковая актив-

ность и ядерно-ядрышковое соотношение. Анализ проводили на временных препаратах меристематических тканей корешков проростков семян. Семена проращивали в чашках Петри на влажной фильтровальной бумаге в термостате при температуре 23–25 °С. Корешки длиной 1,0–1,5 см фиксировали в уксусном этаноле (1 : 3). Для анализа патологий митоза и хромосомных аномалий препараты окрашивали 2%-ным раствором ацетоорсеина [Паушева, 1988]. При окрашивании ядрышек применяли 50%-ный раствор азотнокислого серебра [Муратова, 1995]. Давленные препараты готовили по стандартной методике. Просмотр микропрепаратов осуществляли с помощью микроскопа *Primo Star* (Carl Zeiss) при увеличении 40 × 10. Для фотографирования препаратов применяли цифровую камеру Canon PowerShot A620. Промеры осуществляли на цифровых снимках с помощью программного обеспечения Axio Vision Rel. 4.7. Классификацию цитогенетических нарушений в меристематических тканях проростков проводили по описаниям А. К. Буториной, В. Н. Калаева [2000] и Н. А. Калашник [2008].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее крупная пыльца выявлена у растений *P. sylvestris* Кременецкого лесничества (табл. 1). У растений трех криворожских насаждений морфометрические параметры пыльцы уменьшались по мере усиления воздействия факторов техногенно загрязненной среды. У растений, произрастающих возле

мощного источника выбросов – КМК, пыльца оказалась наименьшей. Однако морфометрические параметры пыльцы, ее длина, длина и высота тела у растений этого насаждения была меньше пыльцы растений Кременецкого насаждения не более чем на 9,1 %, тогда как длина воздушных мешков уменьшилась на 13,9 % (табл. 2). В целом пыльца всех четырех изученных насаждений *P. sylvestris* степной зоны Украины имела несколько более крупное тело, чем пыльца растений сухой степи Хакасии (длина – 44,3–47 мкм, высота – 36,1–39,9 мкм) [Тихонова, 2005], однако уступала, как правило, пыльце растений четырех насаждений г. Красноярска по высоте тела (32,5–42,3 мкм, длина – 39,9–42,3 мкм) и по длине воздушного мешка (22,9–35,2 мкм, высота – 26,2–33,4 мкм) [Третьякова, Носкова, 2004]. У растений исследуемых насаждений *P. sylvestris* отношение длины тела пыльцы (l) к его высоте (h) всегда превышало единицу – 1,15–1,19, а отношение длины воздушного мешка к его высоте, наоборот, было меньше – 0,69–0,73. В случае пыльцы растений г. Красноярска форма тела пыльцевого зерна менялась, когда $l/h > 1$, $l/h = 1$ и $l/h < 1$ [Третьякова, Носкова, 2004].

Тест на крахмал, с помощью которого определяют фертильность пыльцы, показал, что число сильно окрашенных пыльцевых зерен явно преобладало у растений Кременецкого насаждения – 78,1 %. У растений криворожских насаждений такая пыльца выявлялась в разы реже, соответственно КБС – 1,6, ПЖО – 2, КМК – 4. Практически в два

Т а б л и ц а 1

Количество фертильной, стерильной, жизнеспособной и пыльцы с аномалиями у растений *Pinus sylvestris* из насаждений экологически безопасных и техногенно загрязненных территорий

Место произрастания растений	Доля фертильной пыльцы, %		Доля стерильной пыльцы, неокрашенной, %	Доля пыльцы с аномалиями развития, %	Доля жизнеспособной пыльцы, %
	сильно окрашенной	слабо окрашенной			
Кременецкое лесничество	78,1	11,8	5,3	4,8	90,2
Дендрарий Криворожского ботсада	47,5	22,4	15,8	14,3	84,4
Первомайский железорудный отвал	38,1	24,4	18,0	19,5	84,1
Вблизи Криворожского металлургического комбината	33,2	23,3	25,8	17,7	77,9

Морфометрическая изменчивость пыльцы *Pinus sylvestris* из насаждений экологически безопасных и техногенно загрязненных территорий, мкм

Место произрастания растений	Длина пыльцы	Длина тела	Высота тела	Длина мешка	Высота мешка
Кременецкое лесничество	$64,5 \pm 0,3$	$44,8 \pm 0,3$	$37,8 \pm 0,3$	$21,7 \pm 0,2$	$29,8 \pm 0,3$
	4,2	6,0	8,1	11,0	9,8
Дендрарий Криворожского ботсада	$61,3 \pm 0,3$	$42,0 \pm 0,3$	$36,0 \pm 0,3$	$20,4 \pm 0,2$	$28,2 \pm 0,3$
	5,4	7,2	9,5	9,1	9,55
Первомайский железорудный отвал	$60,2 \pm 0,3$	$41,3 \pm 0,3$	$35,9 \pm 0,3$	$19,4 \pm 0,2$	$27,8 \pm 0,3$
	5,3	7,05	8,5	8,8	9,97
Вблизи Криворожского металлургического комбината	$59,4 \pm 0,3$	$40,8 \pm 0,3$	$34,9 \pm 0,2$	$18,7 \pm 0,2$	$29,9 \pm 0,3$
	4,5	7,4	7,0	9,2	10,0

П р и м е ч а н и е. В числителе – $M \pm m$ – среднее значение \pm ошибка, в знаменателе – CV, % – коэффициент вариации.

раза у этих растений меньше слабоокрашиваемой пыльцы и значительно больше неокрашиваемой или стерильной пыльцы: КБС – 3, ПЖО – 3,4, КМК – 4,9. Для растений всех четырех насаждений свойственны следующие аномалии пыльцы: незрелая; деформированная; дегенерирующая; с линзовидным телом; истощенная; “карлик”; “гигант”; с измененной формой тела и воздушных мешков; с непропорционально развитым телом и мешками разных размеров; одномешковая; с одним нормальным и другим недоразвитым мешком; с мешками разного размера; с двумя недоразвитыми мешками; с сильно сближенными мешками; с деформированными краями мешков; со сросшимися мешками; с воротничковой формой воздушных мешков; с тремя нормальными мешками, с тремя мешками, один из которых недоразвит, с четырьмя мешками. Наиболее низкая доля аномальной пыльцы – 4,8 % – выявлена у растений Кременецкого лесничества. У растений криворожских насаждений ее было в разы больше: КБС – 3, ПЖО – 4,1, КМК – 3,7. Большие различия у этих трех насаждений по отношению к Кременецкому выявлены при проращивании пыльцы. Если доля пыльцы с аномалиями пыльцевых трубок (утолщение, искривление, разветвление по типу “оленьи рога”, образование трубок с двух сторон и раздвоение) у Кременецкого насаждения составила 3 %, то у пыльцы растений криворожских насаждений доля аномалий превышала это значение в несколько раз: КБС – 4,5, ПЖО – 10,6, КМК – 18,2. Длина пыльцевых трубок изменялась в та-

ких пределах: 97,4 мкм (КМК) – 123,7 мкм (КЛ). В условиях сухой степи Хакасии длина пыльцевых трубок у *P. sylvestris* варьировала в пределах 61 – 74,9 мкм [Тихонова, 2005], а у растений г. Красноярска в разные годы исследований – от 19 до 294,2 мкм. Жизнеспособной пыльца у растений этих насаждений являлась только в шесть из десяти лет исследований. Это связывают с колебаниями погодных условий в период формирования пыльцы [Носкова, Третьякова, 2011]. Наши исследования в Криворожье еще раз подтверждают, что пыльца *P. sylvestris* приемлема для индикации влияния как воздушного, так и почвенного техногенного загрязнения среды. Очевидно, что для этих целей наиболее подходят три основных показателя: количество стерильной пыльцы у растений, доля аномальной пыльцы и доля пыльцевых трубок с аномалиями при ее проращивании.

В ранее проведенных нами исследованиях установлено, что *P. sylvestris*, а также у сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) выбросы КМК вызывают снижение количества полнотелых семян в шишках растений, а также приводят к значительному увеличению пустосемянности. В то же время у сосен, произрастающих на железорудных отвалах и в дендрарии КБС, такого явного снижения семенной продуктивности не происходит [Коршиков и др., 2002; Коршиков, Красноштан, 2012].

В качестве высокочувствительного теста влияния стрессовых факторов на растения рассматривают качественно-количественные

Ядерно-ядрышковые характеристики интерфазных клеток корешков проростков *Pinus sylvestris* из семян растений кременецкого и криворожских насаждений

Место произрастания растений	Средняя площадь ядра, мкм ²		Средняя площадь ядрышек в ядре, мкм ²		Среднее количество ядрышек в одном ядре	Ядерно-ядрышковое соотношение	
	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>CV</i> , %	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>CV</i> , %	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>CV</i> , %
Кременецкое лесничество	170,4 ± 3,3	23,0	43,8 ± 1,2	28,0	4,9 ± 0,04	4,0 ± 0,08	20,8
Дендрарий Криворожского ботсада	144,6 ± 3,0***	20,8	33,7 ± 0,6***	19,0	5,1 ± 0,05***	4,3 ± 0,07***	17,4
Первомайский железорудный отвал	130,7 ± 2,3**	17,6	29,7 ± 0,8**	26,6	5,6 ± 0,5**	4,6 ± 0,1**	20,0
Вблизи Криворожского металлургического комбината	118,9 ± 2,6*	22,0	25,4 ± 0,7*	26,1	5,8 ± 0,6*	4,8 ± 0,1*	18,8

П р и м е ч а н и е. Разница с контролем достоверна при * – $p \leq 0,95$; ** – $p \leq 0,99$; *** – $p \leq 0,999$.

характеристики ядрышек в клетках. Стресс приводит к реорганизации ядрышковой архитектуры в клетках, изменяется функциональная активность ядрышек, в первую очередь та, что связана с синтезом белков [Rubbi, Milner, 2003; Cheutin et al., 2004; Mayer, Grummt, 2005; Severine et al., 2010]. Характерной особенностью клеток корешков проростков *P. sylvestris* из семян растений криворожских насаждений является существенно меньшая (на 15,1–31,2 %) средняя площадь ядра и одного ядрышка (на 30,9–52,4 %) в сравнении с проростками семян Кременецкого насаждения (табл. 3). В клетках проростков семян этого насаждения количество ядрышек варьировало от 2 до 9, составив в среднем 4,92. У этих проростков больше всего выявлено клеток, которые имели в ядре 3–7 ядрышек, их доля составила 92,6 %. Клетки проростков семян криворожских растений имели от 1 до 12 ядрышек. У проростков семян из дендрария КБС также преобладали клетки с 3–7 ядрышками – 89,8 %. Для проростков семян растений ПЖО и возле КМК свойственны оказались клетки с 3–8 ядрышками, доля которых составила 92 и 90,5 %. В клетках проростков *P. sylvestris* из семян криворожских насаждений наблюдается тенденция увеличения среднего количества ядрышек в одном ядре (на 3,5–17,3 %). По сравнению с семенами КЛ, у проростков семян

криворожских насаждений ядерно-ядрышковое соотношение на 8–19,2 % выше, чем у семян Кременецкого насаждения. Изменение этого соотношения связано с уменьшением площади ядра и ядрышек в их клетках. Очевидно, описанные изменения являются реакцией растений на техногенный стресс, передающейся их семенному потомству. Известно, что ядрышки относятся к чувствительным структурам, оперативно реагирующим на отклонения в метаболизме клетки и координирующим ее ответ на стресс. Изменения в качественно-количественных характеристиках ядрышек в клетках рассматривают как защитно-компенсаторный механизм [Severine et al., 2010].

В исследованиях генотоксичности техногенно загрязненной среды все продуктивнее используют уровень патологий митоза и хромосомных аберраций в проростках семян хвойных из загрязненных районов [Буторина, Калаев, 2000; Седельникова и др., 2011]. Однако цитогенетические нарушения выявлены и у проростков хвойных из семян природных популяций в их типичных для вида местообитаниях. Так, у *P. sylvestris* в фоновых условиях произрастания в Красноярском крае встречаемость хромосомных нарушений составила 0,9 % [Седельникова и др., 2011]. Общее количество цитогенетических нарушений у проростков *P. sylvestris* из семян Кре-

**Цитогенетические нарушения в клетках корешков проростков *Pinus sylvestris* из семян растений
Кременецкого и криворожских насаждений**

Место произрастания растений	Общее количество цитогенетических нарушений, %	В том числе	
		патологии митоза, %	хромосомные абберации, %
Кременецкое лесничество	1,9 ± 0,1	0,5 ± 0,05	1,4 ± 0,1
Дендрарий Криворожского ботсада	3,6 ± 0,1	1,4 ± 0,08	2,3 ± 0,1
Первомайский железорудный отвал, насаждение 22–25 лет	7,8 ± 0,2	2,7 ± 0,1	5,1 ± 0,2
Первомайский железорудный отвал, естественное возобновление 7–11 лет	5,2 ± 0,2	2,1 ± 0,1	3,1 ± 0,1
Вблизи Криворожского металлургического комбината	5,2 ± 0,3	1,8 ± 0,2	3,4 ± 0,2

менецкого лесничества превышало красноярское в 2 раза – 1,86 % (табл. 4). У потомства растений дендрария КБС эти нарушения встречались в 2 раза чаще в сравнении с Кременецким лесничеством. Максимальный уровень нарушений – 7,82 % – обнаружен у потомства растений *P. sylvestris*, высаженных на железорудном отвале. У *P. sylvestris*, произрастающей на отвалах золотодобывающей промышленности Красноярского края, встречаемость хромосомных нарушений составила 9,5 %, а за пределами ареала этого вида (Волгоградская обл.) в зоне действия эмиссий автотранспорта – 14,4 % [Седельникова и др., 2011]. Для потомства растений *P. sylvestris* из насаждения в центральной части г. Кривой Рог возле КМК свойственен меньший уровень цитогенетических нарушений – 5,17 %. Практически такой же уровень выявлен у потомства естественного возобновления *P. sylvestris* на железорудном отвале. Характерной особенностью потомства четырех изученных насаждений *P. sylvestris* является более высокая встречаемость хромосомных аббераций, чем патологий митоза. В случае Кременецкого насаждения это преобладание достигало 3,1 раза, а для криворожских насаждений – 1,7–1,9 раза. Превышение патологий митоза у потомства растений криворожского насаждения в сравнении с кременецким составило 3–5,9 раза, а уровень хромосомных аббераций 1,6–4,5 раза. В ана-телофазных клетках проростков корневых меристем *P. sylvestris* наиболее распространенными патологиями

митоза оказались опережение и отставание хромосом, а среди хромосомных аббераций – мосты и агглютинация. Обнаруженный уровень цитогенетических нарушений у потомства *P. sylvestris* криворожских насаждений близок по доле у потомства растений (8 %), произрастающих в зоне Чернобыльской АЭС [Кальченко, Федотов, 2001], но значительно ниже, чем у растений островных боров Тувы (18 %), где наблюдается заметный дефицит почвенной влаги [Егоркина, 2010]. У потомства *P. sylvestris* в условиях загрязнения воздуха и почвы в Челябинской обл. уровень хромосомных нарушений составил 17–20 % [Калашник, 2008]. Очевидно, что цитогенетические нарушения у семенного потомства *P. sylvestris* – результат кумулятивного влияния экстремальных факторов среды природного и техногенного происхождения. Растения, произрастающие на железорудном отвале, испытывают комплексное действие недостатка влаги и дефицита питательных веществ, а также влияние избыточного содержания в породе тяжелых металлов. Неблагоприятные эдафические условия техногенно нетрансформированных экотопов также способствуют повышению цитогенетических нарушений у семенного потомства хвойных [Егоркина, 2010]. Вероятно, одной из причин цитогенетических нарушений у потомства *P. sylvestris* является оплодотворение семян гипертрофированной пыльцой с нередуцированным набором хромосом, что отмечено у этого вида даже в относи-

тельно нормальных условиях произрастания [Носкова, Третьякова, 2006]. Это, в свою очередь, способствует появлению у проростков миксоплоидии, например, у семенного потомства деревьев, произрастающих на евтрофном осушенном болоте [Седельникова и др., 2013].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, техногенное загрязнение воздуха и субстрата приводит к нарушениям в микроспорогенезе *P. sylvestris*, что проявляется в возрастании в 3 – 4 раза встречаемости пыльцы с аномалиями по сравнению с растениями фонового местообитания. Загрязнение среды способствует повышению цитогенетических нарушений у семенного потомства *P. sylvestris* из насаждений, подверженных воздействию выбросов металлургических производств и произрастающих на железорудном отвале г. Кривой Рог. В клетках мезостематических тканей корешков проростков *P. sylvestris* из семян криворожских насаждений существенно изменяется активность ядрышкового организатора и значительно возрастает доля клеток с патологиями митоза и хромосомными аберрациями. Вышеперечисленные показатели растений *P. sylvestris* и их семенного потомства приемлемы как тестовые для индикации техногенного загрязнения среды.

ЛИТЕРАТУРА

- Буторина А. К., Калаев В. Н. Анализ чувствительности различных критериев цитогенетического мониторинга // Экология. 2000. № 3. С. 206–210.
- Владимирова О. С., Муратова Е. Н., Седаева М. И. Пыльца ели сибирской, произрастающей в различных экологических условиях // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1. С. 98–102.
- Егоркина Г. И. Цитогенетические параметры сосны обыкновенной в Алтайском крае // Лесоведение. 2010. № 6. С. 39–45.
- Калашник Н. А. Хромосомные нарушения как индикатор оценки степени техногенного воздействия на хвойные насаждения // Экология. 2008. № 4. С. 276–286.
- Кальченко В. А., Федотов И. С. Генетические эффекты острого и хронического воздействия ионизирующих излучений на *Pinus sylvestris* L., произрастающих в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС // Генетика. 2001. Т. 37, № 4. С. 437–447.
- Коршиков И. И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. Киев: Наук. думка, 1996. 238 с.
- Коршиков И. И., Терлыга Н. С., Бычков С. А. Популяционно-генетические проблемы дендротехногенной интродукции (на примере сосны крымской). Донецк: ООО “Лебедь”, 2002. 328 с.
- Коршиков И. И., Красноштан О. В. Жизнеспособность древесных растений на железорудных отвалах Криворожья. Донецк: Цифрова типографія, 2012. 280 с.
- Лысый А. Е., Рыженко С. А., Козярин И. П., Мельниченко М. Г., Капничук В. Г. Экологические и социально-гигиенические проблемы и пути оздоровления крупного промышленного региона. Кривой Рог, 2007. 425 с.
- Муратова Е. Н. Методики окрашивания ядрышек для кариологического анализа хвойных // Ботан. журн. 1995. Т. 80, № 2. С. 82–86.
- Носкова Н. Е. Половая репродукция сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях экологического стресса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2005. 20 с.
- Носкова Н. Е., Третьякова И. Н. Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной // Хвойные бореальной зоны. 2006. Вып. 3. С. 54–63.
- Носкова Н. Е., Третьякова И. Н. Репродукция сосны обыкновенной в условиях глобального изменения климата и стратегические пути сохранения вида // Там же. 2011. Т. 28, № 1. С. 41–46.
- Осколков В. А. Качество пыльцы сосны обыкновенной в древостоях Приангарья при разном уровне загрязнения // Лесоведение. 1999. № 2. С. 16–21.
- Пардаева Е. Ю., Машкина О. С., Кузнецова Н. Ф. Изучение цитогенетических характеристик семенного потомства сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях засухи и техногенного загрязнения // Факторы экспериментальной эволюции организмов. Киев: Логос, 2013. С. 62–66.
- Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. 271 с.
- Седельникова Т. С., Пименов А. В., Ефремова Т. Т. Хромосомные нарушения у сосны обыкновенной в экстремальных эдафических условиях // Факторы экспериментальной эволюции организмов. Киев: Логос, 2013. Т. 12. С. 76–80.
- Седельникова Т. С., Пименов А. В., Муратова Е. Н. Хромосомные аномалии у хвойных в экстремальных экотопах // Там же. Киев: Логос, 2011. Т. 10. С. 138–142.
- Тихонова И. В. Морфологические признаки пыльцы в связи с состоянием деревьев сосны в сухой степи // Лесоведение. 2005. № 1. С. 63–69.
- Третьякова И. Н. Эмбриология хвойных. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 157 с.
- Третьякова И. Н., Носкова И. Н. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса // Экология. 2004. № 1. С. 26–33.
- Cheutin T., Misteli T., Dunder M. Dynamics of nucleolar components // The nucleolus. N.Y.: Kluwer Academic Plenum Publishers. 2004. P. 29–40.

Mayer Ch., Grummt I. Cellular stress and nucleolar function // Cell Cycle. 2005. Vol. 4, N 8. P. 1036–1038.
Rubbi C. P., Milner J. Disruption of the nucleolus mediates stabilization of p53 in response to DNA

damage and other stresses // EMBO J. 2003. Vol. 22. P. 6068–6077.
Severine B., Westman B. J., Saskia H. The Nucleolus under stress // Molecular Cell. 2010. Vol. 40. P. 216–227.

Pollen Quality and Cytogenetic Changes of Scots Pine as Indicators of the Effect of Technogenic Environmental Pollution of Krivoy Rog

I. I. KORSHIKOV¹, H. V. LAPTEVA², Yu. A. BELONOZHKO¹

¹ Donetsk Botanical Garden of the NAS of Ukraine
83059, Donetsk, Ilyicha ave., 110
E-mail: dbsgenetics@gmail.com

² Krivoy Rog Botanical Garden of the NAS of Ukraine
50089, Krivoy Rog, Marshaka str., 50
E-mail: botgard@ukpost.ua

Pollen quality and cytogenetic changes in seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) were studied. The pines growing on different sites in Krivoy Rog (on an iron ore dump, near a large metallurgical plant and in the arboretum of Krivoy Rog Botanical Garden) were compared to the plants from the forestry in Ternopil region, where there is no environmental pollution. It was established that the percentage of pollen with developmental abnormalities was 3 to 4 times higher in the plants from Krivoy Rog. The percentage of pollen with abnormalities of germinating pollen tubes was 4.5 to 18.2 times higher and the percentage of cytogenetic abnormalities in dividing cells of seedling roots was 2 to 4.2 times higher as compared to the plants from the forestry in Ternopil region.

Key words: *Pinus sylvestris*, pollen, seeds, cytogenetic changes, Krivoy Rog region.