

И. И. Коршиков¹, Ю. А. Ткачева¹, Е. В. Лаптева²

¹Донецкий ботанический сад НАН Украины

²Криворожский ботанический сад НАН Украины

ПАТОЛОГИИ МИТОЗА (МОСТЫ) В КЛЕТКАХ ПРОРОСТКОВ СЕМЯН ТРЕХ ВИДОВ ХВОЙНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ И НАСАЖДЕНИЙ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Проведен сравнительный анализ встречаемости патологий митоза — мостов на стадии ана-телофазы в клетках корешков семян трех видов хвойных — *Pinus pallasiana* D. Don, *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) Karst., насаждения которых расположены на техногенно загрязненных и нарушенных территориях Донбасса, Кривбасса, а также в районах с повышенным радиоактивным фоном вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Наиболее высокий уровень патологий митоза, как правило, одиночных мостов выявлен у *P. pallasiana* и *P. sylvestris* в техногенных экотопах Кривбасса, особенно у семян из насаждений на железорудном отвале.

Введение

В условиях постоянно возрастающего загрязнения окружающей среды возникает необходимость мониторинговых исследований влияния повреждающих воздействий агентов антропогенного происхождения на живые организмы. Особенно это актуально для крупных промышленных регионов, например, таких как Донбасс и Кривбасс в Украине. В процессе производственной деятельности в Кривбассе ежегодно образуется более 169 млн. м³ промышленных отходов. В этом регионе под карьерами, отвалами, шахтами и обогатительными фабриками занято 35 тыс. га. Предприятия «Укррудпрома» ежегодно добывают около 1 млрд. т горной массы. При добыче 1 млн. т железной руды нарушается от 14 до 640 га земель. Хвостохранилища, где уже заскладировано свыше 2,5 млрд. м³ отходов обогащения железной руды, занимают площадь около 16 тыс. га, а железорудные отвалы — 7 тыс. га. В отвалах, помимо благородных и редкоземельных металлов, содержатся тысячи тонн гранита, агата, нефрита, аметиста и других пород. С 1 га отвальной поверхности при скорости ветра 5 м/с сдувается 6–8 т пыли в сутки. Причем пыль размером 100 микрон переносится на расстояние до 250 м [14, 15]. Площадь, охваченная переносом и осадением мелкодисперсной породной пыли с поверхности отвалов и хвостохранилищ, составляет около 400 тыс. га или 500 га территории на 1 га отвальной

поверхности [4]. В результате избыточной промышленной нагрузки на сравнительно небольшой площади в Кривбассе произошло исчерпание экологической емкости территории, что соответствует статусу зоны экологического бедствия [14, 15].

В 2006 году, согласно данным государственной статистической отчетности, общий годовой выброс в атмосферу 3,6 тыс. источников загрязнения Кривбасса составил 577 тыс. т. На долю газообразных соединений (окислы углерода, азота, сернистый ангидрид и др.) приходится 85% выбросов и 7% — на выхлопные газы автотранспорта. В выбросах пыли и аэрозолей отмечено высокое содержание железа, цинка, хрома, меди, марганца, свинца, кадмия и других тяжелых металлов. Эти металлы в избытке аккумулируются в органах растений, в том числе и сельскохозяйственных. Миграция тяжелых металлов в результате хозяйственной деятельности человека в Кривбассе создает так называемый «металлический пресс» на организм человека и другие элементы биоты, и выступает как один из факторов дестабилизации их жизненной среды [15].

В Донецкой области 91% валовых промышленных выбросов производят коксохимические и металлургические заводы, тепловые электростанции, работающие на угле, отвалы горнодобывающих предприятий. К 2020 году валовый объем выбросов от стационарных источников может составить 1145 тыс. т год. Наибольшая доля промышленных

выбросов приходится на г. Мариуполь — 20,5% от общего количества и г. Донецк — 9,1%. Среди аэроплютантов доминируют оксид углерода (31,3%), метан (23,2%), диоксид серы (24,3%), оксиды азота (6,6%). Кроме того, атмосфера г. Мариуполя и г. Донецка загрязняется пылью, фенолом и формальдегидом. В г. Мариуполе отмечены районы с высоким загрязнением почвы ртутью (2,6–2,8 мг/кг), свинцом (145,4 мг/кг), марганцем (5438 мг/кг), хромом (1012 мг/кг). Общий объем выбросов в атмосферу в 2005 году в г. Мариуполе составил 425,6 тыс. т, а в г. Донецке — 168,9 тыс. т [7, 8]. Значительный объем пыли, выбрасываемой в атмосферу, приходится на Новоамвросиевский цементный завод — 42,8% от общего количества пыли по Донецкой области. Основные вещества, входящие в состав цементной пыли — оксиды кальция (до 60%), диоксиды кремния (до 20%) и оксиды металлов (до 20%) [5, 12].

В выбросах промышленных производств Донбасса и Кривбасса находятся вещества, которые обладают канцерогенным и мутагенным действием. Кроме того, редкоземельные металлы, извлекаемые из недр и впоследствии складированные как отходы в отвалы, создают определенный радиоактивный фон. На территории Украины находятся зоны с повышенным радиоактивным фоном вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Такие зоны мозаично встречаются и в Украинском Полесье. В связи с этим возникает необходимость оценки совокупного действия генотоксичности для растений физических и химических агентов на техногенно нарушенных и загрязненных территориях. Для оценки генотоксической опасности загрязнителей среды для живых организмов предложено в последние 35 лет более 200 тест-систем. Лучше всего для этого подходят растения [1, 16].

Еще в 1972 году Н. П. Бочков с соавторами отмечали, что нет четкой унифицированной классификации нарушений на стадии метафазы или анафазы митоза в соматических клетках животных и растений [3]. Анализ имеющихся публикаций, которые вышли за последние 20 лет по цитогенетическим аномалиям в ходе митоза показывает, что авторы, в большинстве случаев, вносят свои элементы в описание гетерогенности этих типов нарушений. К числу наиболее часто встречающихся цитогенетических нарушений в соматических клетках хвойных

на стадии ана-телофазы митоза относятся мосты [6, 10, 13, 16].

Цель работы — анализ встречаемости цитогенетических нарушений — мостов — в делящихся клетках проростков семян трех видов хвойных, произрастающих на разных по типу техногенного загрязнения среды экотопах Украины.

Материалы и методика исследований

Объектом исследований были представители трех видов семейства *Pinacea* Lindl. из насаждений и природных популяций.

Сосна крымская (*Pinus pallasiana* D. Don).

В Донецкой области исследовано семенное потомство 20–40-летних насаждений в городах Донецк и Мариуполь, где доминируют эмиссии металлургических комбинатов и выхлопные газы автотранспорта, в пгт. Новоамвросиевка, где растения подвержены воздействию выбросов твердых мелкодисперсных частиц цементного производства, расположенного в 2,0–2,5 км от этого комбината. В Кривбассе исследования проведены на Первомайском железорудном отвале Северного горно-обогатительного комбината (СевГОК, г. Кривой Рог), где изучено две выборки разновозрастных деревьев: первичное исходное насаждение (30–35 лет) и подрост самовозобновления вокруг них (10–15 лет), возле Криворожского металлургического комбината (КМК), а также в дендрарии Криворожского ботанического сада НАН Украины (КБС).

Семена собирали отдельно с 25–30 деревьев в названных насаждениях. Для анализа использовали по 10 семян каждого растения. Контролем служили семена *P. pallasiana* из природной популяции Горного Крыма (район пгт Никита), собранные с 40 деревьев, возрастом от 80 до 100 лет.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

В исследовании использовали 30-летние растения насаждения в дендрарии КБС, возле металлургического комбината, где преобладает атмосферное загрязнение газами и пылью, насаждение и молодое самовозобновление на Первомайском железорудном отвале.

В качестве контроля использовали 30-летнее насаждение *P. sylvestris* в районе г. Кременца (Тернопольская обл.), где нет промышленных производств и не ведется добыча рудных ископаемых.

Ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst.).

Исследованы две природные популяции Украинского Полесья и интродукционное насаждение *P. abies*

в дендрарии Донецкого ботанического сада НАН Украины (ДБС). Популяция «Маневичи» из Маневицкого лесничества (Волинская обл.) расположена в области с повышенным радиоактивным фоном в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Как контрольную использовали популяцию «Ростань», находящуюся в Ростаньском лесничестве Волинской области.

Цитогенетический анализ проводили на временных препаратах из меристематических тканей корешков проростков семян по общепринятой для хвойных методике [Правдин, 1972] с собственными модификациями. Семена проращивали в чашках Петри на влажной фильтровальной бумаге в термостате при температуре 23–25°C. Корешки длиной 0,5–1,0 см фиксировали в уксусном этаноле (1:3). В качестве красителя использовали ацетоорсеин. Для лучшей мацерации тканей корешки проростков семян подвергали гидролизу в 18%-ной соляной кислоте в течение 5 минут. Просмотр микропрепаратов осуществляли с помощью микроскопа Carl Zeiss Primo star при увеличении 40×10, учитывали общее количество делящихся клеток и клетки с патологическим митозом (ПМ), которые классифицировали по Н.П. Бочкову (1972) [3]. В общей сложности изучено 30738 клеток для 111 деревьев.

Результаты исследований и их обсуждение

На стадии ана-телофазы в клетках корешков проростков *Pinus pallasiana*, *P. sylvestris* и *Picea abies* выявлены четыре типа мостов: одинарные (а), парные (б), множественные (в) и разорванные или остаточные (г) (рис. 1). Для традиционного объекта лабораторных цитогенетических исследований — лука репчатого (*Allium cepa* L.), на клетках корневой меристемы которого проверяют эффекты действия мутагенов в зависимости от дозы, в числе первых типов аберраций хромосом выделяют одинарные и парные мосты, а также неопределенные множественные аберрации [19]. В свою очередь, мосты подразделяют на два типа: хроматидные и хромосомные. Хроматидные мосты — это одиночные перестройки, связанные с поражением одной хроматиды, а хромосомные мосты — двойные перестройки, т.е. когда в аберрацию вовлечены обе хроматиды, чаще всего перекрещенные [3]. «Толщина» моста не позволяет говорить о его хромосомном или хроматидном характере. По этой причине не всегда можно дифференцировать характер моста и не всегда целесообразно проводить такое разделение.

Среди парных мостов выделяют параллельные, перекрещенные и зацепленные. Наряду с истинными анафазными мостами (дидентриками), в аберрантных клетках могут образовываться мосты за счет слипания хромосом.

Наиболее полно качественный и количественный учет аберраций у хвойных удастся провести на стадии ана-телофазы, поэтому этот анализ рассматривается как универсальный. В качественный анализ включаются лишь бесспорно классифицируемые случаи, а остальные аберрации относятся к «не разобранным нарушениям», которые используются при количественном учете [3, 19].

У семенного потомства трех исследуемых видов среди патологий наиболее часто встречаются одиночные мосты (рис. 2). В 15 из 16 вариантов нашего опыта эта хромосомная аберрация доминировала. На долю одиночных мостов у наиболее исследованного вида — *P. pallasiana*, приходилось от 44,6% (насаждение возле КМК) до 100% (природная популяция Крыма). Явное преобладание в спектре одиночных мостов выявлено у потомства трех насаждений *P. pallasiana* в Донбассе (80–90,9%) и потомства двух популяций *P. abies* Украинского Полесья (75–85,7%), а так же дендрария ДБС (94,7%). Наибольшая доля парных мостов выявлена у семян молодого потомства *P. pallasiana* на железорудном отвале (40,4%) и семян растений из дендрария КБС (40,2%). Практически на уровне контроля (19,7%) установлена доля парных мостов в спектре аберраций у потомства *P. sylvestris* в насаждениях Кривбасса (19,4–22,9%). У семенного потомства *P. pallasiana* в Донбассе доля этой патологии митоза была низкой (4,5–7,1%), как и в трех вариантах *P. abies* (0–14,3%). Множественные мосты в исследованном спектре хромосомных аберраций чаще всего встречались у потомства растений из дендрария КБС (38,8%). Особенностью семян молодого самовозобновления *P. pallasiana* на железорудном отвале является отсутствие в их аберрантных клетках множественных мостов, при наличии 26,2% этой патологии в клетках семян растений первичного насаждения. Эта патология с высокой долей была представлена в контроле *P. sylvestris* (30,6%) и на близком уровне — у семян из насаждений Кривбасса (30,3–39,3%). В исследуемом спектре патологий митоза наименее представлены у двух видов рода *Pinus* L. разорванные мосты — от 0 до 6,2% и до 9,5% — у *P. abies*.

Среди трех видов наибольшее относительное количество исследованных патологий митоза, по сравнению с контролем, отмечено у *P. pallasiana*. У семенного потомства 30–35-летних растений искусственного насаждения этого вида на железорудном отвале мосты встречались в 263,7 раза чаще, чем у семян из природной популяции Горного Крыма (табл.). У семян самовозобновления *P. pallasiana* на этом отвале доля этой патологии митоза была в 4,9 раза меньше, чем у семян более возрастных растений насаждения. Высокий уровень аномалий митоза у семян растений из дендрария КБС можно объяснить тем, что это насаждение подвержено воздействию выбросов Северного горно-обогатительного комбината. Характерно, что встречаемость мостов у семян из трех насаждений *P. pallasiana* в Донбассе была в 1,6–17,9 ниже, чем у семян четырех насаждений Криворожья. Очевидно, что атмосферное и почвенное загрязнение отходами переработки железной руды в Криворожье является более действенным фактором, вызывающим повышенную аберрантность хромосом — мостов у проростков семян *P. pallasiana*, чем только преимущественное действие аэрополлютантов на насаждения в Донбассе. С другой стороны, выбросы металлургических комбинатов г. Мариуполя оказывают более сильное генотоксическое действие на исследуемый вид, чем выбросы цементного комбината в Новоамвросиевке.

Следует отметить высокий уровень патологий митоза — мостов у семян *P. sylvestris* в контрольном насаждении вблизи г. Кременца. Он был в 34,3 раза выше, чем у семян *P. pallasiana* из популяции Горного Крыма. По этой причине встречаемость исследуемых хромосомных aberrаций у семян *P. sylvestris* в насаждениях Криворожья, по отношению к контролю, заметно ниже, чем у семян *P. pallasiana*. Однако, если сравнивать долю клеток с мостами у проростков семян *P. sylvestris* и *P. pallasiana* из насаждений Криворожья, то в трех из четырех вариантов она выше у первого вида, чем у второго. У обоих видов наиболее высокий уровень патологий митоза отмечен у 30–35-летних растений на железорудном отвале. Эти растения на отвале были высажены двухлетними сеянцами и в течение онтогенеза испытывают совокупное действие неблагоприятных эдафических факторов породного отвала.

Характерен низкий уровень хромосомных aberrаций — мостов у семян *P. abies* как природных популяций, так и интродукционного насаждения

в дендрарии ДБС. Это относится ко всей совокупности патологий митоза, которые были нами исследованы у этого вида [13, 18, 22]. Мосты в делящихся клетках *P. abies* из контрольной популяции встречались в 4,3 раза реже, чем у семян *P. sylvestris* из г. Кременца, однако в 8 раз чаще, чем у семян *P. pallasiana* из Крыма. У семян растений *P. abies* из дендрария ДБС эти хромосомные aberrации отмечены в 6,8 и 12 раз реже, чем соответственно у семян *P. pallasiana* и *P. sylvestris* из дендрария КБС. На уровне контроля выявлены хромосомные aberrации у семян *P. abies* в популяции, находящейся в зоне повышенного радиоактивного фона.

У разных сортов пшеницы, которые подвергались воздействию гамма-излучения, хроматидные мосты фиксировались лишь при низких дозах, а частота встречаемости мостов хромосомного типа повышалась по мере увеличения дозы излучения [16]. *P. abies*, очевидно, отмечается значительно меньшей чувствительностью к действию физико-химических факторов загрязнения окружающей среды, способных вызывать цитогенетические эффекты, чем *P. pallasiana* и *P. sylvestris*. В работе Н. А. Калашник (2008) показано, что из четырех исследуемых видов хвойных, произрастающих на техногенно загрязненных территориях Южного Урала, наибольший уровень хромосомных нарушений отмечен у семян *P. sylvestris*. Повышение количества хромосомных аномалий, выявленных на стадии метафазы, в 7,5–16,1 раза больше у проростков семян четырех видов хвойных из загрязненных территорий этого региона, чем контрольных насаждений. При этом в условиях загрязнения у семян хвойных, как правило, наблюдается 4–5 типов аномалий, а в фоновых условиях в основном не более 1–3 типов [9, 10].

Несмотря на общепринятое применение частот встречаемости хромосомных aberrаций в клетках живых организмов, для оценки генотоксических эффектов воздействия различных физических и химических агентов механизмы образования этих аномалий в митозе плохо изучены [21]. Для возникновения хромосомных aberrаций, очевидно, необходимы двойные разрывы ДНК. Все типы хромосомных aberrаций рассматривают как единый феномен, так как их общей основой является одно- и двухцепочечные разрывы ДНК [20]. Однако разные типы хромосомных aberrаций возникают вследствие различного количества молекулярно-генетических событий, с вовлечением разных

морфологических районов хромосом, существенно отличающихся своими структурно-функциональными особенностями. Кроме того, отдельные хромосомы одного кариотипа могут заметно отличаться друг от друга частотой участия в хромосомных aberrациях [24]. Хромосомные aberrации вызывают некоторые немутагенные химические соединения, так же как и метаболические яды, подавляющие синтез ДНК, и индуцирующие двойные разрывы ДНК. Возникновение хромосомных aberrаций зависит от специфических генотипических особенностей

индивида, контролирующей функциональную активность белков, обслуживающих упаковку первичных последовательностей ДНК [23]. К образованию хромосомных aberrаций приводит нарушение целостности плазматических мембран клетки. Низкоинтенсивное длительное облучение вызывает снижение фосфолипидов в мембранах, изменяет их физико-химические свойства (вязкость и проницаемость), что в свою очередь препятствует нормальному протеканию всех жизненных функций клетки, включая и процессы репарации [2, 25].

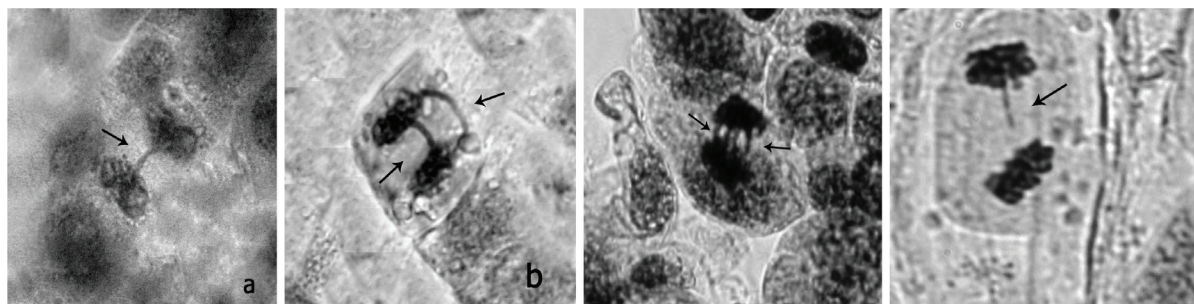
Количество цитогенетических аномалий — мостов в aberrантных клетках корешков проростков семян трех видов хвойных, произрастающих на территориях с разным уровнем техногенного загрязнения

Вид	Место произрастания	Кол-во просмотренных клеток	Количество мостов					%	в разы по отношению к контролю
			одинарные	парные	множественные	разорванные	всего		
			шт.	шт.	шт.	шт.	шт.		
<i>Pinus pallasiana</i> D. Don.	Природная популяция (контроль)	10083	3	—	—	—	3	0,03	0
	Первомайский железорудный отвал (30-35 летние растения)	18941	354	190	207	38	791	4,17	263,7
	Первомайский железорудный отвал (10-15 летние растения)	12659	89	65	—	7	161	1,27	53,7
	Дендрарий КБС	17769	104	78	—	12	194	1,09	64,7
	г. Кривой Рог (КМК)	8088	62	20	54	3	139	1,72	46,3
	пгт Новоамвросиевка	7175	40	2	—	4,54	44	0,61	14,7
	г. Донецк	6748	53	4	3	2	62	0,92	20,7
	г. Мариуполь	6774	68	6	8	3	85	1,25	28,3
<i>Pinus sylvestris</i> L.	г. Кременец (контроль)	15242	82	31	48	1	157	1,03	0
	Первомайский отвал (старые)	19454	330	138	214	25	707	3,63	4,5
	Первомайский отвал (молодые)	15210	155	67	114	9	345	2,27	2,2
	Дендрарий КБС	19567	157	86	121	11	375	1,92	2,4
	г. Кривой Рог	5088	47	25	48	2	122	2,39	0,8
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	«Ростань» (контроль)	8728	18		1	2	21	0,24	0
	«Маневичи»	10197	21	4	2	1	28	0,27	1,3
	Дендрарий ДБС	11813	18	1	-	-	19	0,16	1,1

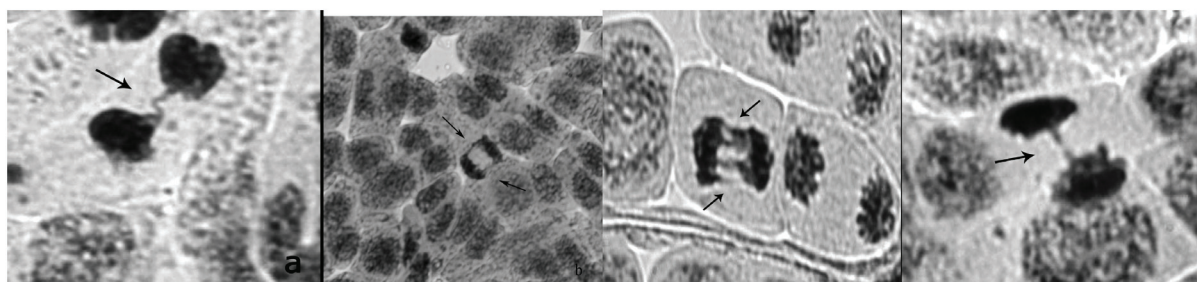
Выводы

Таким образом, в клетках корешков проростков семян двух видов хвойных — широкоареальной *Pinus sylvestris* и узкоареальной — *P. pallasiana*, произрастающих в различных техногенно нарушенных и загрязненных экотопах Донбасса и Кривбасса, обнаружен высокий уровень патологий митоза — мостов на стадии ана-телофазы. Наиболее часто встречаются одиночные мосты. Эти два вида сосны

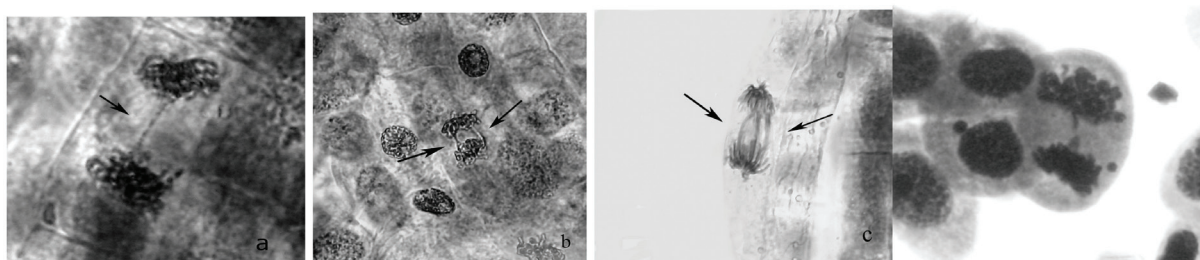
характеризуются значительно большей реактивностью на загрязнение окружающей среды, чем *Picea abies*. Результаты наших исследований показали, что цитогенетические нарушения — мосты в клетках семян *P. sylvestris* и *P. pallasiana*, как и оба вида, могут быть использованы для мониторинга генотоксических эффектов на техногенно загрязненных территориях.



Pinus pallasiana D. Don



Pinus sylvestris L.



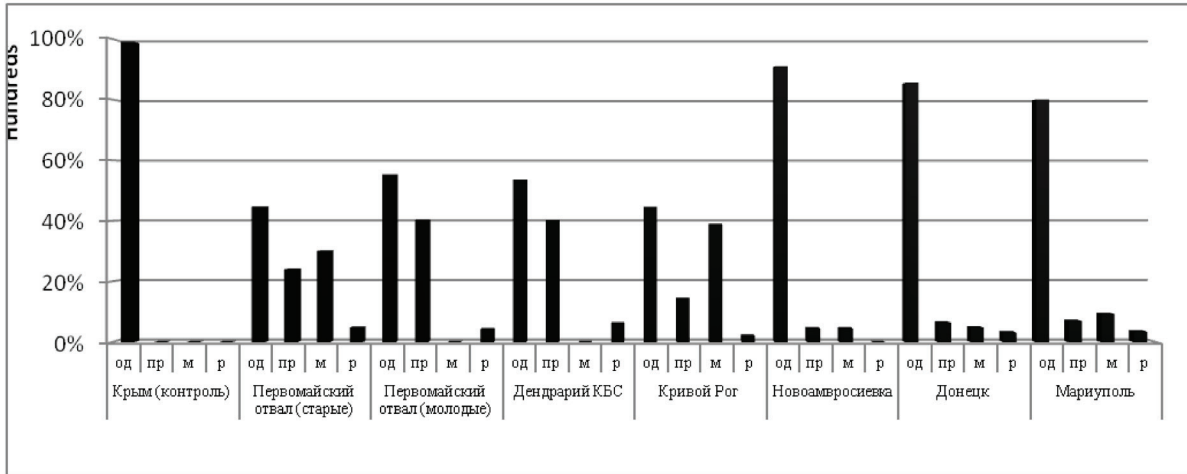
Picea abies (L.) Karst.

Рис. 1. Патологии митоза в делящихся клетках корешков семян трех видов хвойных, произрастающих на разных по уровню техногенного загрязнения территориях Украины, а — одиночные, б — парные, с — множественные, d — разорванные мосты

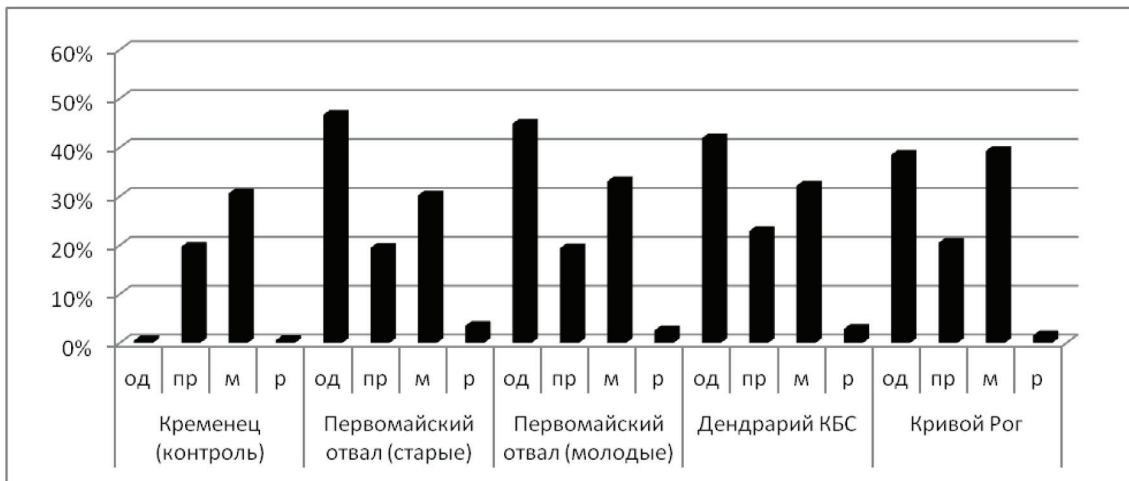
Перечень ссылок

1. Батуева М. М., Эффективность прогнозов канцерогенной активности химических соединений при

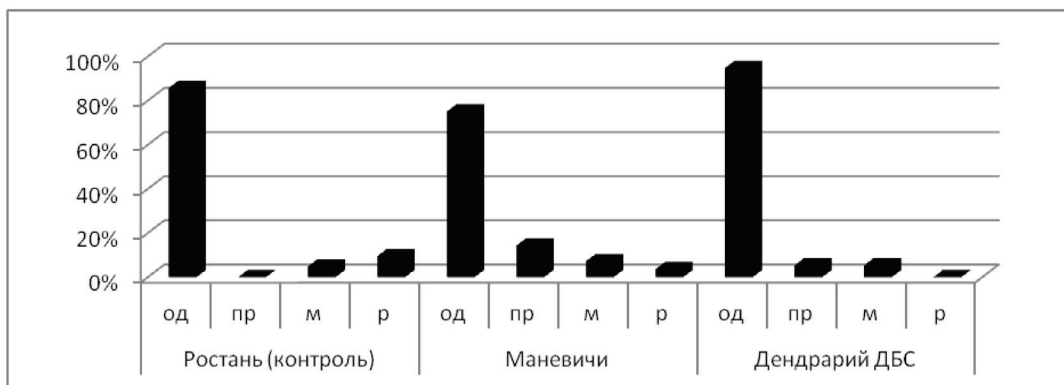
учете соматических мутаций у сои *Glycine max* (L.) Merril. Генетика / Батуева М. М., Абилова С. К., Тарасов В. А. — 2007. — Т. 43, № 1. — С. 78–87.



Pinus pallasiana D. Don



Pinus sylvestris L.



Picea abies (L.) Karst.

Рис. 2. Встречаемость хромосомных aberrаций — мостов в делящихся клетках корешков семян трех видов хвойных, произрастающих на разных по уровню техногенного загрязнения экотопах Украины, % от общего количества мостов: од — одинарные, пр — парные, м — множественные, р — разорванные мосты

2. Башлыкова Л. А., Шевченко О. Г. Цитогенетические и биохимические изменения в тканях полевок-экономок из районов с повышенной естественной радиоактивностью // Проблемы радиационной генетики на рубеже веков: тез. докл. меж-нар. конф. — Ереван, 2000. — С. 76.
3. Бочков Н. П., Демин Н. В., Лучник Л. В. Классификация и методы учета хромосомных aberrаций в соматических клетках. Генетика. / Бочков Н. П., Демин Н. В., Лучник Л. В. — 1972. — Т. 8, № 5. — С. 133–142.
4. Горлов В. Д. Расчет величины запыления земель, прилегающих к отвальному массиву / Горлов В. Д. // Горный журн. — 1990. — № 3. — С. 7–9.
5. Державний комітет статистики України. Головне управління статистики у Донецькій області. Викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферу від стаціонарних джерел забруднення в Донецькій області за 2010 рік. Статистичний бюлетень. — Донецьк, 2011—47 с.
6. Егоркина Г. И. Цитогенетические параметры сосны обыкновенной в Алтайском крае / Егоркина Г. И. // Лесоведение. — 2010. — № 6. — С. 39–45.
7. Земля тривоги нашої. За матеріалами доповіді про стан навколишнього природного середовища в Донецькій області у 2009 році / Під ред. С. В. Третьякова. — Донецьк, 2010. — 106 с.
8. Земля тривоги нашої. За матеріалами доповіді про стан навколишнього природного середовища в Донецькій області у 2005 році / Під ред. С. В. Третьякова. — Донецьк, 2006. — 108 с.
9. Калашник Н. А. Характеристика естественных насаждений хвойных видов Южного Урала по цитогенетическим показателям / Калашник Н. А. // Вестник ОГУ. — 2009. — № 6. — С. 157–160.
10. Калашник Н. А. Хромосомные нарушения как индикатор оценки степени техногенного воздействия на хвойные насаждения / Калашник Н. А. // Экология. — 2008. — № 4. — С. 276–286.
11. Ковалева О. А. Цитогенетические аномалии в соматических клетках млекопитающих / Ковалева О. А. // Цитология и генетика. — 2008. — Т. 42, № 1. — С. 58–72.
12. Коломеец М. И. Исследование химического состава пыли цементных производств / Коломеец М. И., Львов А. В., Севриков В. В. // Оптимізація виробничих процесів: зб. наук. пр. — Вип. 12. — Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2010. — С. 216–221.
13. Коршиков И. И. Сравнительный анализ цитогенетических нарушений у семенного потомства двух видов хвойных в условиях загрязненной среды / Коршиков И. И., Ткачева Ю. А. // Достижения і проблеми генетики, селекції та біотехнології: зб. наук. пр. IX з'їзду УГТІС. — Київ. — 2012. — Т. 4. — С. 242–246.
14. Лысый А. Е. Экология Кривбасса: социально-гигиенические проблемы и перспективы оздоровления / Лысый А. Е., Артюх В. М., Рыженко С. А. — Кривой Рог. — 2002. — 226 с.
15. Лысый А. Е. Экологические и социально-гигиенические проблемы и пути оздоровления крупного промышленного региона / Лысый А. Е., Рыженко С. А., Козярин И. П., Мельниченко М. Г., Капничук В. Г. — Кривой Рог. — 2007. — 425 с.
16. Моргул В. В. Генетичні наслідки аварії на Чернобильській АЕС / Моргул В. В., Якимчук Р. А. — Київ: Логос, 2010. — 400 с.
17. Правдин Л. Ф. Методика кариологического изучения хвойных пород / Правдин Л. Ф., Бударягин В. А., Круклис М. В. // Лесоведение. — 1972. — № 2. — С. 67–72.
18. Ткачева Ю. О. Спектр цитогенетичних порушень у *Picea abies* (L.) Karst. первинного інтродукційного насадження в дендрарії Донецького ботанічного саду НАН України / Ткачева Ю. О. // Промышленная ботаника. — 2010. — Вып. 10. — С. 110–112.
19. Шкарупа В. М. Генопротекторний ефект гумату натрію за умов індукованого оксидантного стресу / Шкарупа В. М., Бариляк І. Р., Неумержицька Л. В., Гуменюк І. Д. // Цитология и генетика. — 2010. — Т. 44, № 1. — С. 54–56.
20. Bryant P. E. DNA damage, repair and chromosomal damage / Bryant P. E. // Int. J. Radiat. Biol. — 1997. — Vol. 71. — P. 675–680.
21. Harvey A. N. Chromosomal aberrations induced by defined DNA doublestrand breaks: the origin of achromatic lesions / Harvey A. N., Costa N. D., Savage J. R., Thacker J. // Somat. Cell Mol. Genet. — 1997. — Vol. 23. — P. 211–219.
22. Korshikov I. I. Cytogenetic abnormalities in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings from natural populations and an introduction plantation / Korshikov I. I., Tkacheva Yu. A., Privalikhin S. N. // Cytology and Genetics. — 2012. — Vol. 46, № 5. — P. 280–284.
23. Morgan W. F. DNA doublestrand breaks, chromosomal rearrangements, and genomic instability / Morgan W. F., Corcoran J., Hartmann A., Kapian M. I., Limoli C. L., Ponnaiya V. // Mutat. Res. — 1998. — Vol. 404. — P. 125–128.
24. Richardson C. Doublestrand break repair by interchromosomal recombination: suppression of chromosomal

translocations / Richardson C., Moynahan M. E., Jasin M. // *Genes. Dev.* — 1998. — Vol. 15. — P. 3831–3842.

25. Wojcik A., Bonk K., Muller W. U., Obe G., Streffer C. Do DNA doublestrand breaks induced by Alu lead to development of novel aberrations in the second and third posttreatment mitoses / Wojcik A., Bonk K., Muller W. U., Obe G., Streffer C. // *Radiat. Res.* — 1996. — 145. — P. 19–27.

Рекомендував до друку Опалко А. І.

ПАТОЛОГІЇ МІТОЗУ (МОСТИ) У КЛІТИНАХ ПРОРОСТКІВ НАСІННЯ ТРЬОХ ВИДІВ ХВОЙНИХ ПОПУЛЯЦІЙ І НАСАДЖЕНЬ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

І. І. Коршиков¹, Ю. О. Ткачова¹, О. В. Лаптева²

¹Донецький ботанічний сад НАН України

²Криворізький ботанічний сад НАН України

Проведено порівняльний аналіз трапляння патологій мітозу (мостів) на стадії ана-телофази у клітинах корінців насіння трьох видів хвойних — *Pinus pallasiana* D. Don, *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) Karst., насаджень яких розташовані на техногенно забруднених і порушених територіях Донбасу, Кривбасу, а також у районах з підвищеним радіоактивним

фоном внаслідок аварії на Чернобильській АЕС. Найвищий рівень патологій мітозу, як правило, поодиноких мостів, виявлено в *P. pallasiana* і *P. sylvestris* у техногенних ектопах Кривбасу, особливо у насінні із насаджень на залізорудному відвалі.

ABNORMALITIES OF THE MITOSIS (BRIDGES) IN SEEDLING CELLS OF THREE CONIFER SPECIES IN POPULATION AND PLANTATIONS OF THE URBAN POLLUTED AREAS

I. I. Korshikov¹, Yu. A. Tkachova¹, H. V. Lapteva²

¹Donetsk Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine

²Krivoi Rig Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine

A comparative analysis of occurrence of the mitosis abnormalities (bridges) at the stage of ana-telophase in seed root cells has been carried out for three conifer species — *Pinus pallasiana* D. Don, *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) Karst. This study has been conducted in these species plantations, located in industrially polluted and disturbed lands of Donbass, Krivbass and also those with a high radioactive background as a consequence of Chernobyl NPP accident. The highest level of mitosis abnormalities, as a rule ordinary bridges, was revealed in *P. pallasiana* and *P. sylvestris* growing in industrial ecotopes of Krivbass, especially in seeds of plants, growing in ore-mining dump.