

ПРОВЕДЕНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В г. ВОРОНЕЖЕ, ИСПОЛЬЗУЯ ДРЕВЕСНЫЕ ПОРОДЫ ДЕРЕВЬЕВ, НА ПРИМЕРЕ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (BETULA PENDULA ROTH)

Л. С. Найденова, С. А. Епринцев, В. Н. Попов

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 21.04.2008 г.

Аннотация. Показана возможность использования клеток интеркалярной и апикальной меристемы березы повислой (*Betula pendula* Roth), в изучении комбинированного действия различных ксенобиотиков в районах города. Определены митотический индекс (МИ), частота патологических митозов (ПМ) для клеток интеркалярной меристемы листьев березы повислой *Betula pendula* Roth, произрастающих в районах г. Воронежа с высокими уровнями антропогенного загрязнения. В загрязненных районах возрастает частота патологических митозов. Показана также возможность изучения мутагенного действия отдельного загрязнителя (на примере ацетата свинца), анализируя частоту патологических митозов в апикальной меристеме проростков семян березы повислой (*Betula pendula*). Определены основные цитогенетические показатели (МИ, ПМ). Выяснили, что ацетат свинца обладает генотоксическим действием на клетки апикальной меристемы семенного потомства березы повислой (*Betula pendula* Roth). Полученные данные свидетельствуют о необходимости включения цитогенетического исследования древесных пород деревьев в генетический мониторинг, который является составной частью экологического мониторинга окружающей среды.

Ключевые слова: береза, цитогенетический мониторинг, загрязнение окружающей среды, митоз

Abstract. It is shown possibility of the use meristematic tissues from birches (*Betula pendula* Roth), in study of the multifunction action different pollutants in region of the city. They are determined mitotic index (the MI), frequency pathological mitosis (PM) for hatches meristematic tissues sheet of the birch повислой *Betula pendula* Roth, sprouting in region Voronezh with high level industrial people contamination. In polluted region increases the frequency pathological mitosis. It is shown also possibility of the study mutagens actions separate pollutant (on example of the acetate lead), analyzing frequency pathological mitosis in meristematic tissues from root-tips of germinating seeds *Betula pendula* Roth. They are determined main цитогенетические to factors (the MI, PM). Have realized that acetate lead possesses genotoxic action on meristematic tissues from root-tips of germinating seeds *Betula pendula* Roth. The got data are indicative of need of the cut-in cytogenetical studies of the wood sorts tree in genetic monitoring, which is a component part of ecological monitoring surrounding ambiances.

Key words: birch, cytogenetic monitoring, environmental pollution, mitosis

ВВЕДЕНИЕ

Происходящее с окружающей средой негативно влияет на здоровье и условия жизни людей по всему миру, говорится в докладе ООН за 2007 г. (по материалам BBC). Согласно «Глобальному экологическому прогнозу», тенденции носят в основном неблагоприятный характер. В предисловии к докладу Генеральный секретарь ООН Пан Ги Мун назвал происходящее «глобальной угрозой многим достижениям человеческого общества за последние десятилетия». Проблема предотвращения экологической катастрофы — это, безусловно, глобальная проблема, которая по своей грандиозности превосходит все остальные, встречавшиеся

на пути развития человечества. И никогда еще не было такого гигантского разрыва между масштабами проблемы и возможностями ее решения.

Экологическая напряженность — это тяжелый спутник научно-технического прогресса. К настоящему времени обнаружено в атмосфере свыше 3000 химических веществ, из которых достаточно полно изучена биологическая активность лишь около 10 % [1].

Прогресс науки и техники подвергает современных людей значительно большим рискам неблагоприятной изменчивости, чем это было на протяжении всего предшествующего периода развития человеческой цивилизации. Физические, химические и, возможно, биологические (вирусные) мутагены могут нести серьезную угрозу для

генетической структуры популяции в будущем. Поэтому одной из актуальнейших задач современного естествознания является изучение процессов генетической изменчивости человека и разработка системы мер для предотвращения неблагоприятных тенденций эволюции [2, 3].

С достаточной уверенностью можно утверждать, что многие мутации генов и практически все aberrации хромосом неблагоприятны как для индивида, так и для популяции; большинство хромосомных патологий в митозе губит зиготу в период эмбрионального развития, меньшая часть таких зигот доживает до рождения и продолжает существовать дальше, но пораженные пациенты страдают тяжелыми врожденными пороками [3]. Генные мутации часто ведут к врожденным заболеваниям с простым типом наследования или к дефектам в мультифакториальных генетических системах [4]. Доля благоприятных мутаций, в лучшем случае, очень незначительна.

Характерной чертой, присущей современным крупным, промышленным городам, является высокая концентрация производства и людей на ограниченном пространстве, что обуславливает ухудшение экологической обстановки. Особенно выражена эта тенденция в промышленных центрах, где предприятия расположены внутри жилых кварталов. По данным ВОЗ 80% болезней вызвано состоянием экологического напряжения [5, 6].

Наиболее целесообразным на данный момент для решения проблем экологии человека является использование мониторинга окружающей среды.

Экологический мониторинг — это система наблюдений за изменениями состояния среды, вызванными антропогенными причинами, который позволяет прогнозировать развитие этих изменений. Целью мониторинга не является пассивная констатация фактов: кроме наблюдений он включает эксперимент и моделирование как основу прогноза [7].

Несомненно, мониторинг окружающей среды, а также другие методы решения экологических проблем, так или иначе, затрагивают генетику. Проблемы генетики, экологии и адаптации человека становятся особенно острыми. А между тем, генетическое загрязнение нашей планеты опаснее всех других [3, 8, 9]. Поэтому особое значение имеет генетический мониторинг, позволяющий проводить контроль мутационных процессов, выявлять и предотвращать возможность генетической опасности, связанную с еще не обнаруженными мутагенами [3]. В настоящее время генетический

мониторинг ограничивается учетом врожденных генетических аномалий человека, а также разрозненными сведениями о различных изменениях в живых организмах, вызванных загрязнением окружающей среды различными поллютантами. Еще не разработан ряд необходимых экономических механизмов для стимулирования

МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Хотя генетический мониторинг — дело сложное, он просто необходим для решения экологических проблем человека, а также уменьшения роста числа заболеваний, в том числе наследственных.

При выборе объектов исследования по экологической генетике необходимо уделять большее внимание многоклеточным организмам, включая млекопитающих и высшие растения (например, древесные породы, играющие ключевую роль в биосферных процессах). В настоящее время направление экологической генетики развивается на высших растениях [8]. Использование в качестве тест-систем древесных растений обусловлено тем, что деревья длительное время произрастают на одном и том же месте, подвергаясь хроническому воздействию промышленных и других загрязнителей, что позволяет проводить многолетние исследования.

Мы выяснили, что клетки интеркалярной меристемы древесных растений, в частности березы повислой (*Betula pendula* Roth), могут эффективно применяться в качестве объекта для оценки мутагенности окружающей среды.

Предлагаемый нами метод позволяет, используя изменения цитогенетических показателей у березы повислой (*Betula pendula* Roth) в интеркалярной или апикальной меристеме, вести многолетний последовательный генетический мониторинг уровня загрязнения любого участка города, определяя комплексное действие ксенобиотиков данного района.

Современные промышленные предприятия характеризуются техногенными выбросами сложного химического состава, обладающие различной специфической токсичностью, в том числе генотоксичностью. Отрывочные данные о токсическом воздействии некоторых из них на живой организм, описанные в литературе, основаны большей частью на экспериментальных данных. Подобные эксперименты проводились и нами на семенном потомстве березы с целью изучения генотоксического действия ацетата свинца. Этот загрязнитель

попадает в атмосферу, как от стационарных источников, так и от автотранспорта, доля загрязнения которого в разные годы в г. Воронеже составляет от 80% до 90% [10, 11]. Из атмосферы ионы свинца попадают в другие среды и аккумулируются в них, что делает актуальным исследование генотоксического действия ацетата свинца на генетическую систему.

Окружающая среда крупных промышленных городов является и условием, и результатом жизнедеятельности людей. В целях ослабления негативных эффектов, возникающих в здоровье населения из-за ухудшения экологической обстановки, и стабилизации показателей общей заболеваемости, проведение комплекса эколого-геохимических и эколого-биологических работ является весьма актуальным. Это дает возможность принимать решения на основе четкого анализа связи специфических патологий с конкретными загрязнителями на фоне определенных геохимических параметров среды обитания [6, 10].

В настоящее время изучено токсическое действие отдельных загрязнителей среды на здоровье населения, у некоторых из них изучено и генотоксическое действие. Предлагаемая методика изучения цитогенетического воздействия окружающей среды позволяет учесть генотоксическое действие химических и физических факторов, определяющих экологическую обстановку выбранного участка.

Сопоставление полученных результатов цитогенетического исследования районов г. Воронежа с эколого-гигиеническим зонированием городского пространства по основным факторам экологических рисков, предложенный и апробированный на кафедре геоэкологии, ВГУ (см. рис. 1), позволяет предположить наличие корреляции между результатами цитогенетического анализа, загрязненностью районов города различными ксенобиотиками и заболеваемостью населения города.

В качестве объекта для проведения цитогенетического мониторинга нами предложены деревья березы повислой (*Betula pendula* Roth). Это растение удобно использовать в качестве тест-объекта по многим причинам: 1) повсеместная распространенность и хорошая приспособленность к городским условиям; 2) простота методики и доступность исследуемого материала; 3) чувствительность генетического аппарата березы повислой (*Betula pendula* Roth) к генотоксическому действию загрязнителей окружающей среды; 4) возможность учитывать генотоксическое действие ксенобиотиков

(возможно еще не известных) окружающей среды, а также проведения экспериментов по выяснению генотоксичности одного или нескольких загрязнителей химической или физической природы.

Наиболее часто для генетического мониторинга используют породы хвойных деревьев, например, сосну обыкновенную, из-за наличия у них гаплоидного макрогаметофита (эндосперма). Однако сосна является эндемичным растением для многих регионов России и произрастает на песчаных почвах, в которых большее число химических мутагенов вымывается не задерживаясь. По этой причине она не может быть универсальным объектом для многолетнего экологического мониторинга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Цитогенетический мониторинг в районах г. Воронежа проводился с использованием клеток интеркалярной меристемы листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth), собранных в марте, в различных по экологическому благополучию районах. Определение состояния территории проводилось на основе метода эколого-гигиенического зонирования городского пространства по критериям качества среды обитания и уровню здоровья населения, который был разработан и апробирован на кафедре геоэкологии ВГУ (рис. 1). Условно чистым районом нами признана лесопарковая зона п. Тенистый. Сбор материала с целью определения уровня генотоксичности загрязнителей окружающей среды в г. Воронеже проводился в районах, прилегающих к заводам, или объектам, загрязняющим окружающую среду. Эти территории по результатам эколого-гигиенического зонирования характеризуются как районы с критической (опасной) эколого-гигиенической ситуацией. Нами исследовались клетки интеркалярной меристемы листьев березы повислой (*Betula pendula*), собранные в районе заводов: ОАО «Воронежсинтезкаучук» (СК), ОАО «Рудгормаш» (ГОО), ОАО «Воронежшина» (шинный), «Воронежский механический завод», ТОО «Воронежский керамический завод», а так же ТЭЦ-1 АО «Воронежэнерго» (ВОГРЭС). Фиксация клеток интеркалярной меристемы листьев проводилась непосредственно в природе смесью ледяной уксусной кислоты и этилового спирта (1:3). С целью цитогенетического исследования листьев готовили постоянные давленные микропрепараты по общепринятой методике [12]. После фиксации их тщательно отмывали в дистиллированной воде. Далее трехкратно промывали уксусной кислотой (45%). Окрашивание



Рис. 1. Геоэкологическое зонирование внутригородского пространства г. Воронежа

производили ацетогематоксилином в течение 50—60 минут при комнатной температуре. Затем отмывали материал в дистиллированной воде и готовили постоянные давленные препараты: препаровальной иглой отделяли основание листа (не более 3 мм), помещали его на предметное стекло в каплю жидкости Гойера, накрывали покровным стеклом и равномерно распределяли материал, постукиванием спичкой по покровному стеклу.

Изучение генотоксического действия ацетата свинца проводилось на клетках апикальной меристемы проростков семян березы повислой (*Betula pendula* Roth). Семена были собраны в конце августа, начале сентября на условно чистых территориях г. Воронежа. Материал собирался в двух местах, в каждом из которых анализировалось не менее 3-х деревьев (контроль 1 и контроль 2). Семена березы высевались в чашках Петри (контроль) с добавлением ацетата свинца в концентрации 10^{-6} М/л, 10^{-7} М/л, 10^{-8} М/л, различая место сбора (точка 1 (Т 1) и точка 2 (Т 2)). Проростки фиксировались в смеси ледяной уксусной кислоты и этилового спирта (1:3). Для цитологического изучения семенного потомства березы повислой (*Betula pendula* Roth) готовили постоянные давленные микропрепараты по стандартной методике [12]. Для этого материал отмывали от фиксатора в дистиллированной воде, мацерировали в соляной кислоте (18 %) при подогревании, отмывали уксусной кислотой (45 %). Окрашивание и проростков семян производили ацетогематоксилином в течение 45—80 минут при комнатной температуре. Затем отмывали материал в дистиллированной воде и готовили постоянные давленные препараты. Препаровальной иглой отделяли апикальную меристему проростка (1—3 мм), помещали ее на предметное стекло в каплю жидкости Гойера, накрывали покровным стеклом и придавливали кончик корешка, постукивая легкими ударами ручкой препаровальной иглы, добиваясь равномерного распределения материала.

Полученные препараты анализировались под световым микроскопом при увеличении $100 \times 1,5 \times 10$. Изучались клетки на различных стадиях первого митоза. Определялся митотический индекс и частота патологических митозов. Отмечались различные патологии митоза: отстающие хромосомы, мосты, вакуолизации, гаплоидия, агглютинация и пр.

В таблицах приводятся результаты экспериментов, где каждое значение представляет собой среднее арифметическое из трех определений. Полученные данные и достоверность экспериментов обрабатывали с использованием критерия Стьюдента.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Нами были проведены цитогенетические исследования в районах г. Воронежа с различной степенью загрязненности. Определение состояния территории проводилось на основе метода экологического зонирования городского пространства по критериям качества среды обитания и уровню здоровья населения, который был разработан и апробирован на кафедре геоэкологии ВГУ (рис. 1). Результаты исследований представлены в таблице 1.

Анализ результатов показал, что митотический индекс во всех районах исследований почти оди-

Таблица 1

Сравнительная характеристика цитогенетических показателей у березы повислой (*Betula pendula* Roth) в различных по экологическим характеристикам районах г. Воронежа

Район	Число клеток	Число делящихся клеток	Митотический индекс %	Число патологий митоза	% патологий митоза $\pm m$
Тенистый	9734	826	$8,5 \pm 0,97$	3	$0,4 \pm 0,22$
СК	7692	682	$8,9 \pm 1,09$	29	$4,3 \pm 0,78^*$
ВОГРЭС	8710	727	$8,3 \pm 1,02$	33	$4,5 \pm 0,77^*$
Шинный завод	7595	628	$8,5 \pm 1,11$	20	$3,2 \pm 0,70^{**}$
ГОО	5086	438	$8,6 \pm 1,34$	10	$2,3 \pm 0,72^*$
ул. Космонавтов	4055	335	$8,3 \pm 1,51$	16	$4,8 \pm 1,17^{**}$

Обозначения: * — различия с контролем достоверны, достоверность составляет 0,01; ** — различия с контролем достоверны, достоверность составляет 0,001

наков, а различия между ними статистически не достоверны. То есть загрязнение окружающей среды в г. Воронеже характеризуется относительно низким потенциалом и не приводит к нарушениям стабильности митотической активности в интеркалярной меристеме листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth). Однако генотоксичность загрязнителей окружающей среды не оставляет сомнения.

Наиболее высокая частота патологий в митозе наблюдается в районах наибольшего загрязнения промышленными отходами и транспортом. Так, процент патологий в районе ГОО — 2,3 %. Этот завод находится на окраине города, поэтому здесь нет интенсивного движения автотранспорта. Рядом с заводом ГОО находится и шинный завод, но движение автотранспорта здесь более оживленное. Частота патологий митоза здесь составляет 3,2 %. Анализ процента патологий в митозе в районах СК (4,3 %) , ВОГРЭС (4,5 %) показал, что эти районы отличаются наибольшей генотоксической активностью загрязнителей окружающей среды. СК и ВОГРЭС находятся недалеко друг от друга, а также в непосредственной близости от оживленной транспортной магистрали. То есть здесь очевидно сочетанное генотоксическое действие поллютантов, как от стационарных источников, так и от автотранспорта, который в нашем городе является приоритетным источником загрязнения (в разные годы от 80 до 90 %). Аналогичная ситуация скла-

дывается и в районе ул. Космонавтов, где частота патологичных митозов составила 4,8 %. Помимо загрязнений от двух стационарных источников («Воронежский механический завод», ТОО «Воронежский керамический завод»), большой вклад вносит и автотранспорт. В этом месте проходит оживленная трасса, и располагаются различные промышленные базы, поэтому основная часть транспорта — грузовые автомобили, которые, как известно, вносят наибольший вклад в экологическую напряженность.

Таким образом, загрязнители окружающей среды от стационарных источников и автотранспорта вызывают патологии в митозе растительных организмов, что показано нами на примере березы повислой (*Betula pendula* Roth). Действие ксенобиотиков от стационарных источников и автотранспорта усиливают генотоксический эффект друг друга. Частота возникновения патологий в митозе тем выше, чем шире спектр загрязнителей окружающей среды.

Цитогенетические исследования, проводимые на растительном материале, позволяют не только проводить мониторинг окружающей среды, но и оценивать цитогенетическое воздействие отдельных загрязнителей, например тяжелых металлов.

Нами изучалось мутагенное действие ацетата свинца, в клетках апикальной меристемы проростков семян березы повислой (*Betula pendula* Roth). Результаты эксперимента занесены в таблицу 2.

Таблица 2

*Изучение генотоксического действия ацетата свинца на семенное потомство березы повислой (*Betula pendula* Roth)*

Вариант эксперимента	Общее число клеток	Число делящихся клеток	Митотический индекс MI, % ± m	Патологии митоза, кол-во	Патологии митоза, % ± m
Контроль 1	6180	507	8,20±0,35	13	2,56±0,70
Контроль 2	2290	191	8,34±0,58	3	1,57±0,90
T1 10 ⁻⁶ М/л	2200	188	8,55±0,59	12	6,38±1,78 ¹
T1 10 ⁻⁷ М/л	6690	590	8,82±0,35	23	3,90±0,80 ¹
T1 10 ⁻⁸ М/л	4600	309	6,72±0,37	27	8,74±1,61 ³
T2 10 ⁻⁶ М/л	1340	65	4,85±0,59	3	4,62±2,60 ¹
T2 10 ⁻⁷ М/л	2285	184	8,05±0,57	9	4,89±1,59 ¹
T2 10 ⁻⁸ М/л	1000	51	5,10±0,70	4	7,84±3,76 ²

Обозначения: 1 — различия с контролем достоверны, достоверность составляет 0,05; 2 — различия с контролем достоверны, достоверность составляет 0,01; 3 — различия с контролем достоверны, достоверность составляет 0,001

Анализ результатов эксперимента показал, что в контроле 1 митотический индекс $8,2 \pm 0,35 \%$ и $8,05 \pm 0,57 \%$ — в контроле 2, а патология митоза $2,56 \pm 0,7 \%$ и $1,57 \pm 0,9 \%$ соответственно.

При генотоксическом действии соли свинца наиболее близкая к контролю митотическая активность наблюдается при концентрации — 10^{-7} М/л ($8,82 \pm 0,35 \%$ в Т 1 и $8,05 \pm 0,57 \%$ — в Т 2). Уровень патологий митоза возрастает до $3,90 \pm 0,8 \%$ в Т 1 и $4,89 \pm 1,59 \%$ в Т 2. Ацетат свинца в концентрации 10^{-7} М/л обладает генотоксической активностью.

В эксперименте с меньшей концентрацией ацетата свинца — 10^{-8} М/л отмечается угнетение всхожести семян, из-за этого было проанализировано малое количество клеток (менее 2000), и ингибирование митотическая активность — $6,72 \pm 0,37 \%$ для Т 1 и $5,1 \pm 0,7 \%$ для Т 2, что ниже контрольных значений (таблица 1). В тоже время растет частота возникновения патологий митоза до $8,74 \pm 1,61 \%$ и $7,84 \pm 3,76 \%$ для Т1 и Т2 соответственно. При концентрации ацетата свинца 10^{-8} М/л происходит ингибирование митотической активности в клетках проростков семян березы повислой (*Betula pendula* Roth), и отмечается значительный генотоксический эффект соли свинца.

В эксперименте с концентрацией ацетата свинца 10^{-6} М/л митотическая активность в Т 1 и Т 2 различны. В Т 1 митотический индекс близок к контрольному значению ($8,2 \pm 0,35 \%$), а в Т 2 резко падает ($4,85 \pm 0,59 \%$). Но в обоих случаях отмечается угнетение всхожести семян и увеличение частоты патологий митоза: $6,38 \pm 1,78 \%$ в Т 1 и $4,65 \pm 2,6 \%$ в Т 2. Вероятно, разницу значений митотической активности в данном случае можно объяснить индивидуальной чувствительностью к ацетату свинца семенного потомства березы повислой (*Betula pendula* Roth), отмечается генотоксический эффект соли свинца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цитогенетические исследования, проводимые на березе повислой (*Betula pendula* Roth), показали, что в зонах эколого-гигиенического зонирования, характеризующихся критической (опасной) эколого-гигиенической ситуацией, частота возникновения патологий митоза значительно превышает таковой показатель в условно чистых территориях, но митотическая активность в клетках березы остается стабильной. Цитогенетические исследования показали связь между уровнем загрязнения окружающей среды и частотой возникновения патологий митоза у растений на примере березы повислой

(*Betula pendula* Roth). Показано увеличение процента патологий в митозе, при увеличении антропогенной нагрузки на конкретной территории города.

Приводимая методика позволяет оценить комбинированное генотоксическое действие загрязнителей в определенном месте или районе города, а также позволяет изучить действие отдельных загрязнителей. Нами приводится пример изучения генотоксического действия ацетата свинца на клетки апикальной меристемы проростков семян березы повислой (*Betula pendula* Roth). Рекомендуется при проведении экологического мониторинга на стадии формирования базы данных учитывать результаты цитогенетических исследований. С целью генетического мониторинга возможно проведение исследований не только на растениях, но и непосредственно на человеке, используя метод культивирования лимфоцитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубинин Н.П. Генетика — страницы истории. Кишинев: Штиинца, 1990. — 398 с.
2. Попов Г.И. Экологические проекты. Принципы и практика // Экология и жизнь. — (<http://www.ecolif.ru/journal/org/index.shtml>).
3. Будущее человечества и прогресс генетики // Коллекция рефератов — Биология. — (<http://referatcollection.ru/10/>).
4. Айала Ф., Кайгер Дж. Современная генетика: в 3-х т. Т. 1. Пер. с англ.: — М.: Мир, 1988. — 295 с.
5. Эколого-геохимические аспекты техногенного загрязнения металлургических центров // Каталог работ. Геоэкология. — (http://www.mirrabort.com/work/work_42418.html)
6. Чубирко М.И., Пичужина Н.М., Масайлова Л.А., Харченко И.А., Шукулина В.В. Здоровье и среда обитания населения Воронежской области: Атлас. Воронеж: Издат-Черноземье, 2006. — 212 с.
7. Филиппов Л.М., Инсаров Г.Э. и др. О структуре и задачах экологического мониторинга / Филиппов Л.М., Инсаров Г.Э. и др. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 1978. Л. Гидрометеиздат. Т. 1. С. 19—32.
8. Дубинин Н.П. Некоторые проблемы современной генетики. М.: Наука, 1994. — 205 с.
9. Сьякте Т.Г., Сьякте Н.И. Химические соединения, повреждающие ДНК. Рига: Зинатне, 1991. 317 с.
10. Куропат С.А., Мамчик Н.П., Клепиков О.В. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 2006. — 220 с.
11. Скуфьин К.В. Экология и охрана природы. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1986. — 279 с.
12. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. 4 изд. М.: «Агропромиздат», 1988. — 270 с.

Найденова Лилия Семеновна — аспирант кафедры генетики, цитологии и биоинженерии Воронежского государственного университета; тел. (4732) 208-876, e-mail: lilianaidenova@rambler.ru

Епринцев Сергей Александрович — преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета; тел.: (4732) 665-654, e-mail: esa81@mail.ru

Попов Василий Николаевич — профессор, ав. кафедрой генетики, цитологии и биоинженерии Воронежского государственного университета; тел.: (4732) 208-876, e-mail: pvn@bio.vsu.ru

Naidenova Lilia S. — PhD student of the department of Genetics, Cytology and Bioengineering of Voronezh State University; tel.: (4732) 208-876, e-mail: lilianaidenova@rambler.ru

Eprintsev Sergej A. — lecturer of the department of Geoecology on environmental monitoring of Voronezh State University; tel.: (4732) 665-654, e-mail: esa81@mail.ru

Popov Vasily N. — professor, head of the department of Genetics, Cytology and Bioengineering of Voronezh State University; tel.: (4732) 208-876, e-mail: pvn@bio.vsu.ru