

© Л. В. Барабанова¹,
Е. В. Ковтун²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет;

² ГКУ «Дирекция ООПТ» Санкт-Петербурга

Использование генетически модифицированной сои (ГМ) в качестве пищевого субстрата при разведении дрозофилы, а также добавка ГМ-сои в стандартный корм мышей, не выявило ее мутагенного эффекта по критериям рецессивных сцепленных с полом летальных мутаций (РСПЛМ) и доминантных мутаций (ДМ) у дрозофилы и аномальных спермиев у мыши.

✿ **Ключевые слова:** генетическая токсикология; мутагенез; генетически модифицированная соя; дрозофила; мышь; рецессивные сцепленные с полом летальные мутации; доминантные мутации; аномальные спермии.

ИЗУЧЕНИЕ МУТАГЕННЫХ ЭФФЕКТОВ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СОИ У ДРОЗОФИЛЫ И МЫШИ

ВВЕДЕНИЕ

В условиях наблюдаемого сегодня в мире демографического взрыва проблема обеспечения населения Земли продуктами питания приобретает чрезвычайно актуальный характер. Разрешить сложившуюся ситуацию могут помочь современные научные технологии. Так, рекомбинантные ДНК позволяют селекционерам выделять и вводить в микробные, животные и растительные организмы чужеродные гены (Бурьянов, 1999; Щелкунов, 2010). Это резко сокращает время создания новых форм и дает возможность получать трансгенные организмы, продуцирующие несвойственные им метаболиты. Однако широкое распространение генетически модифицированных организмов давно вызывает серьезную озабоченность общественности, как в России, так и за рубежом (Федоров, Яблоков, 1999). В этой связи особенно важна объективная научная оценка возможных пищевых рисков использования трансгенных растений — продуцентов целого ряда ценнейших компонентов питания человека. Наименее изучен и наиболее остро стоит вопрос генотоксического влияния продуктов биотехнологии на организм человека. Исходя из биологической универсальности свойств генетического материала, предупреждающим сигналом служит обнаружение генетической активности в экспериментах с любым из объектов. Методы генетической токсикологии предоставляют возможность объективно ответить на поставленный вопрос, для чего в настоящее время применяют широкий набор тест-систем (Гераськин с соавт., 2010).

В этой связи целью настоящей работы явилась оценка мутагенной активности генетически модифицированной сои *Glycine max* L., устойчивой к гербициду глифосату и являющейся сырьем для широкого ряда продуктов питания человека, в тестах на дрозофиле и мыши.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом исследования послужила генетически модифицированная (ГМ) соя (*Glycine max* L.), устойчивая к гербициду глифосату (коммерческое название RoundUp, трансформационное событие 40-3-2), производства «Monsanto Company». Проверка генетической активности модифицированной сои была осуществлена с использованием плодовой мушки *Drosophila melanogaster* Meig. и домашней мыши *Mus musculus* L., для которых разработаны тесты по оценке частоты возникновения разных типов мутаций. Поскольку в организм человека ГМ-продукты попадают в основном с пищей, была поставлена задача оценить мутагенные эффекты присутствия ГМ-сои в пищевом рационе подопытных животных. В качестве контроля использовали генетически немодифицированную (НМ) сою сорта Вилана, который в Российской Федерации является стандартным сортом в селекционной работе. Он внесен в Государственный реестр селекционных достижений и допущен к использованию в производстве в зоне Северного Кавказа с 1999 года. Кроме этого, в каждой серии опытов была сформирована группа животных, рацион которой соответствовал общепринятым рекомендациям. Так, в экспериментах на дрозофиле использовали стандартную дрожжевую среду для поддержания мух, а в случае мышей применяли полнорационный комбикорм для лабораторных животных производства ЗАО «Волосовский комбикормовый завод» (рецепт № ПК-120-494).

Поступила в редакцию 25.05.2015
Принята к публикации 01.06.2015

Для оценки мутагенной активности ГМ-сои у дрозофилы использовали метод учета рецессивных летальных мутаций, индуцированных в X-хромосоме самцов (РСПЛМ) (Muller, 1927, цит. по Herskowitz, 1958). С этой целью в пробирки с гомогенатом ГМ-сои, либо гомогенатом НМ-сои, а также со стандартной дрожжевой средой, помещали по 12–14 пар мух дикого типа линии Oregon R. После завершения полного цикла развития вылетевших самцов скрещивали с самками тестерной линии Vasc (Меллер-5). В X-хромосоме мух этой линии имеются 2 инверсии (sc^8 и sc^{49}), которые препятствуют кроссинговеру между половыми хромосомами. Фенотипическими маркерами служат рецессивная мутация w^a — абрикосовые глаза и доминантная мутация Bag — полосковидные глаза. Гетерозиготных самок F_1 далее индивидуально скрещивали с самцами линии Меллер-5 в соотношении 1 самка: 2 самца. При просмотре культур второго поколения пробирки, в которых отсутствовали самцы дикого типа, учитывали как летали и дополнительно ставили на F_3 для проверки леталей. Частоту рецессивных летальных мутаций оценивали как число индивидуальных культур с летальными к общему числу проанализированных культур F_2 (Тихомирова, 1990).

Для выявления мутагенной активности ГМ-сои у домово́й мыши использовали метод учета аномальных головок спермиев (АГС), рекомендованный для оценки мутагенных свойств фармакологических средств Фармкомитетом РФ (Методические рекомендации, 1994). Анализ проводили с использованием половозрелых самцов трехмесячного возраста линии C57BL/6 из питомника «Рапполово» РАМН. Выбор линии был обусловлен тем, что самцы этой линии обладают повышенной чувствительностью к мутагенам по сравнению с традиционно используемой линией СВА (Малашенко, Суркова, 1973). Эксперимент был проведен в двух повторностях. Для каждой повторности из питомника доставляли по 20 мышей. Из них формировали 3 экспериментальные группы: 7 мышей в опытной группе, 7 — получавших НМ-сою и 6 — в контроле. В первой повторности в варианте с НМ-соей была зарегистрирована гибель 1 мыши. Во второй повторности в каждом варианте эксперимента погибли по 2 мыши.

В опытной группе каждое животное получало вместе со стандартным кормом по 0,5 г ГМ-сои в день (ГМ-группа). Дозу сои в рационе мышей определяли путем перерасчета на единицу живого веса количества продукта, добавлявшегося в корм в опытах Ермаковой И. В. по исследованию токсического влияния ГМ-сои на крысах (Ермакова, 2006). Наряду с вариантом ГМ-группа были сформированы еще две группы мышей, которым либо добавляли такое же количество НМ-сои сорта Виллана (НМ-группа), либо давали стандартный комбикорм без добавления сои (К-группа).

Для того, чтобы выровнять дозу воздействия исследуемого продукта, животных содержали индивидуально

в полипропиленовых клетках в стандартных лабораторных условиях. Адаптация животных к новым условиям содержания после их доставки из питомника проходила в течение 7 дней. Затем животных разделяли на экспериментальные группы и в течение 22 дней осуществляли их кормление соответственно схеме опыта. Продолжительность кормления была определена исходя из срока протекания гаметогенеза у *Mus musculus*, при котором на 17 сутки после воздействия реализуются половые клетки, находившиеся в момент обработки на стадии сперматид. При подготовке суточной дозы корма для одной мыши из групп, получавших ГМ-сою и НМ-сою, смешивали 1,2–1,3 г измельченного до порошкообразного состояния стандартного корма с 0,5 г молотой сои. Смесь разводили водой до получения эластичной консистенции, из которой лепили гранулы и высушивали их в течение суток. Затем гранулы смазывали нерафинированным подсолнечным маслом и скармливали мышам. Третьей группе мышей скармливали готовые гранулы стандартного корма без добавления сои, смоченные растительным маслом. Каждые 2–3 дня всем животным в рацион добавляли небольшие порции сухарей и свежих овощей согласно прописям.

В дальнейшем эксперимент проводили согласно общепринятым рекомендациям (Методические указания, 1994). Через сутки после последнего кормления животных забивали методом цервикальной дислокации, вскрывали и выделяли оба эпидидимиса. Эпидидимисы помещали в физиологический раствор (0,85%-й раствор NaCl), где их разделяли ножницами на несколько частей и встряхивали пипеткой для получения суспензии. Готовую суспензию раскапывали по 2–3 капли на обезжиренные предметные стекла, равномерно распределяли по стеклу препаровальной иглой и высушивали при комнатной температуре. Готовили по 2–3 стекла на каждую мышь. Препараты окрашивали ацеторсеином в течение 25–30 минут и промывали водой. Готовые цитологические препараты анализировали под микроскопом «Jenamed» при увеличении $\times 40$. Цитологический анализ проводили методом неперекрывающихся полей зрения, учитывали только целостные спермии, без наложений, с неповрежденной хвостовой нитью. В каждом варианте опыта анализировали по 500–600 спермиев от одного животного. Выявленные аномалии относили к 4-м классам: 1) аномалии крючка (удлиненные или укороченные); 2) аморфные головки; 3) нитевидные головки; 4) редкие случаи — банановидные головки и спермии с 2 головками.

Статистический анализ полученных результатов проводили с помощью программы Microsoft Excel 2002. Оценку материала на гетерогенность осуществляли с использованием критерия χ^2 . Сравнение распределений частот в опытном и контрольных вариантах проводили с помощью пакета программ GraphPadStat непараметрическим N-методом Крускала–Уоллиса. Различия по частотам считали значимыми при $P < 0,05$ (Готов и др., 1982).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Соя — нетрадиционная питательная среда для дрозофилы. Поэтому важным результатом настоящего исследования следует считать тот факт, что *Drosophila melanogaster* оказалась способной проходить полный цикл своего развития на среде, состоящей только из чистого гомогената сои. Размножение дрозофилы на этой среде задерживало сроки вылета имаго на 1–2 суток и приводило к частичной гибели мух на стадии куколки, однако в остальном серьезных нарушений отмечено не было. Тем не менее, чтобы оценить возможный токсический эффект гомогената сои на индивидуальное развитие мух, была проведена оценка частоты возникновения крыловых морфозов (табл. 1). Полученные данные демонстрируют, что как при развитии на стандартной дрожжевой среде, так и при использовании в качестве субстрата гомогената сои, у мух не наблюдалось достоверных отличий по частоте аномалий формирования крыловой пластинки.

Основным методом исследования мутагенной активности генетически модифицированной сои служила оценка частоты рецессивных, сцепленных с полом летальных мутаций (РСПЛМ). Как видно из таблицы 2, частота РСПЛМ у мух, развивавшихся на среде из ГМ-соей, составила 0,46 %; на среде из НМ-соей — 0,26 % и на стандартной дрожжевой среде — 0,53 %. Полученные результаты

указывают на то, что изменение субстрата при развитии дрозофилы само по себе не приводит к генотоксическому эффекту, а, кроме того, ГМ-соя и НМ-соя обуславливают появление леталей на уровне их частоты в контроле.

Для оценки мутагенных эффектов генетически модифицированной сои у *Mus musculus* был выбран критерий частоты возникновения аномальных головок спермиев (АГС). Результаты представлены в таблице 3. Как следует из таблицы 3, полученные значения частоты АГС характеризуются высокой вариабельностью. Так, в группе мышей, получавших корм с добавлением ГМ-соей, значения частоты АГС варьировали от 4,9 до 30,4 %. В группе мышей, питавшихся кормом с НМ-соей, отмечается размах изменчивости данного показателя от 5,1 до 22,8 %. И, наконец, в группе животных, которых содержали в стандартных виварных условиях питания, частота АГС варьировала в пределах от 4,2 до 24,2 %. Такого рода изменчивость определила выбор статистических параметров оценки, поэтому в таблице 3 в качестве показателей центра распределения приведены средние значения и медианы для каждого варианта опыта. Проведенный статистический анализ этих выборок с использованием критерия Крускала—Уоллиса показал отсутствие между ними достоверных различий.

Таким образом, у дрозофилы и мыши ни один из выбранных стандартных генетических тестов не выявил мутагенной активности генетически модифицированной сои.

Таблица 1

Частота крыловых морфозов у мух, прошедших цикл развития на среде с ГМ-соей, НМ-соей и стандартной дрожжевой среде

Вариант	Показатель	Число проан. мух (абс.)	Частота крыловых морфозов (абс.)	Частота крыловых морфозов (%)
Среда с ГМ-соей		1162	16	1,4 ± 0,3
Среда с НМ-соей		1363	15	1,1 ± 0,3
Стандартная дрожжевая среда		984	12	1,2 ± 0,3

Таблица 2

Частота РСПЛМ у мух, прошедших цикл развития на среде с ГМ-соей, НМ-соей и стандартной дрожжевой среде

Вариант	Показатель	Число проанализированных X-хромосом	Число леталей (абс.)	Частота леталей (%)
Среда с ГМ-соей		1734	8	0,46 ± 0,16
Среда с НМ-соей		1130	3	0,26 ± 0,15
Стандартная дрожжевая среда		566	3	0,53 ± 0,30

Таблица 3

Частота АГС у самцов домового мыши, получавших стандартный корм и корм с добавлением ГМ-соей, НМ-соей

Вариант	Показатель	Число животных	Число проанализированных спермиев (абс.)	Минимальное значение частоты АГС (%)	Максимальное значение частоты АГС (%)	Среднее значение частоты АГС	Медиана
ГМ-соя		12	7177	4,9 ± 0,9	30,4 ± 1,7	16,4	14,2
НМ-соя		10	5707	5,1 ± 1,0	19,7 ± 1,5	12,4	12,6
Стандартный корм		10	5830	4,2 ± 0,9	24,2 ± 1,7	14,2	13,1

ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении влияния различных факторов, в том числе, и фактора питания, в генетической токсикологии наряду с оценкой мутагенных эффектов изучают токсическое действие на организм испытуемых компонентов. В нашей работе таким компонентом питания у дрозофилы служил гомогенат сои.

Прежде всего, было обнаружено, что использование гомогената сои в качестве единственного компонента питательной среды оказалось достаточным для прохождения дрозофилой полного цикла своего развития. При этом следует отметить некоторую задержку вылета имаго, а также отдельную гибель мух на стадии куколки. Это наблюдение позволило предположить существование слабого токсического эффекта при развитии мух на среде с соевым концентратом. В наших экспериментах на дрозофиле показателем токсичности специфического субстрата (ГМ-сои и НМ-сои) служила частота крыловых морфозов. Данный показатель позволяет выявить модифицирующее действие исследуемого фактора, в конкретном случае, оценить влияние ГМ-сои на развитие и формирование такого важного для насекомого органа, как крыло. По результатам этого теста токсического действия сои выявлено не было (табл. 1). Более того, не было обнаружено достоверного отличия частоты крыловых морфозов на среде с ГМ-сои и НМ-соей по сравнению с контрольным вариантом, что позволило сделать предварительный вывод об отсутствии токсических эффектов при развитии как на среде, приготовленной из ГМ-сои, так и НМ-сои.

В качестве основного критерия, позволявшего оценить мутагенный эффект ГМ-сои на дрозофиле нами были выбраны рецессивные, сцепленные с полом летальные мутации (РСПЛМ). Среди рецессивных мутаций, возникающих при действии различных факторов, летальные мутации являются наиболее представительной группой. Это обуславливает широкое использование их в тест-системе на дрозофиле при анализе мутагенности самых разных агентов. Следует подчеркнуть, что этот тест является надежным и общепринятым методом учета мутаций и рекомендован Фармкомитетом РФ для оценки мутагенных свойств фармакологических препаратов (Методические указания, 1994).

Согласно полученным результатам не было выявлено статистически значимых различий по частоте рецессивных летальных мутаций, индуцированных в X-хромосоме самцов *Drosophila melanogaster* линии Oregon R, при развитии мух на средах с ГМ-соей, НМ-соей и стандартной дрожжевой среде.

Для проверки данных о токсическом действии ГМ-сои, полученных в экспериментах Ермаковой И.В. на крысах (Ермакова, 2006), а также возможности последующей экстраполяции полученных данных на человека, были проведены эксперименты с кормлением лабо-

раторных мышей ГМ-соей. У мышей, как и у человека, широко используется показатель частоты аномальных головок спермиев (АГС) как критерий мутагенной активности исследуемых факторов (Wyrobek, Bruce, 1975; Soares et al., 1979). Следует отметить, что природа изменений, приводящих к формированию аномальных головок спермиев, пока до конца не выяснена. Ряд авторов высказывают предположение, что АГС обусловлены точковыми мутациями или мелкими делециями. Другие авторы допускают возможность появления АГС за счет соматических повреждений (Померанцева и др., 1980). Таким образом, частота АГС может служить отражением широкого круга изменений, происходящих в организме животных и человека под действием целого ряда негативных факторов. Добавление в корм мышей чужеродного компонента в виде сои может рассматриваться как воздействие такого рода фактора, а частота АГС отражать его генотоксическое действие.

Анализируя полученные результаты, следует отметить значительное варьирование частоты АГС во всех вариантах эксперимента. Существуют данные, согласно которым спонтанная частота возникновения аномальных головок спермиев у мышей линии C57Bl/6 достигала величины 22,3 %, что соответствует верхнему порогу частот, полученных в наших экспериментах (Померанцева и др., 1980). Хотя исходный материал представлял собой генетически выровненную линию мышей, Тем не менее можно предположить, что имеющая место вариабельность учитываемого показателя есть отражение межиндивидуальной реакции на действующий фактор. Несмотря на это проведенный статистический анализ с использованием непараметрического критерия Крускала—Уоллиса продемонстрировал, что все три распределения частот АГС, полученные нами в эксперименте, статистически не отличаются. Это свидетельствует о том, что ГМ-соя, как компонент питания, не вызывает генотоксического эффекта по сравнению с НМ-соей и стандартным кормом согласно частоте АГС.

Таким образом, по результатам серии экспериментов с использованием ГМ-сои в качестве пищевого субстрата у дрозофилы и мыши не выявлено ее мутагенной активности.

Авторы выражают благодарность координатору генетической кампании организации «Гринпис России» Наталии Леонидовне Олефиренко за предоставленный материал ГМ-сои.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурьянов Я.И. (1999) Успехи и перспективы генно-инженерной биотехнологии растений // Физиология растений. Т. 46 (6): С. 930–944.
2. Гераськин С.А., Сарапульцева Е.И., Цаценко Л.В., Глазер В.М., Абилов С.К., Смирнова С.Г., Замулае-

- ва И.А., Комарова Л.Н., Степченкова Е.И., Инге-Вечтомов С.Г., Ким А.И., Крутенко Д.В., Евсеева Т.И., Михайлова Г.Ф., Амосова Н.В. (2010) Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг: учеб. пособие для студ. высш. проф. образования // под ред. Гераськина С.А., Сарапульцевой Е.И. М.: Издательский центр «Академия», 208 с.
3. Глотов Н.В., Животовский А.А., Хованов Н.В., Хромов-Борисов Н.Н. (1982) Биометрия. Л.: ЛГУ. 264 с.
 4. Ермакова И.В. (2006). Генетически модифицированная соя приводит к снижению веса и увеличению смертности крысят первого поколения. Предварительные исследования // ЭкоИнформ. № 1: С. 4–10.
 5. Малашенко А.М., Суркова Н.И. (1973) Индукция доминантных леталей к диэтилсульфату у самцов мышей разного генотипа // Генетика. Т. 9 (4): С. 147–149.
 6. Методические рекомендации по оценке мутагенных свойств фармакологических средств. (1994). М.: Медицина. 40 с.
 7. Померанцева М.Д., Рамайя Л.К., Вилкина Г.А. (1980) Сравнительная эффективность использования разных тестов для определения мутагенности некоторых факторов у млекопитающих // Генетика. Т. 16 (8): С. 1397–1403.
 8. Тихомирова М.М. (1990) Генетический анализ: Учеб. пособие // Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та. 280 с.
 9. Федоров Л.А., Яблоков А.В. (1999) Пестициды — токсический удар по биосфере и человеку. — М.: Наука. 462 с.
 10. Щелкунов С.Н. (2010) Генетическая инженерия: Учеб.-справ. пособие. — 4-е изд., стер. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во. 514 с.
 11. Herskowitz I.H. (1958) Bibliography on the genetics of drosophila. Bloomington: Indiana University Press, 296 p.
 12. Soares E.R., Sheridan W., Haseman J.K., Segall K. (1979) Increased frequencies of aberrant sperm as indicators of mutagenic damage in mice // Mutation research. V. 64 (1): P. 27–35.
 13. Wyrobek A.J., Bruce W.R. (1975) Chemical induction of sperm abnormalities in mice // Proceedings of the National Academy of Science of the USA. V. 72 (11): P. 4425–4429.
- of GM-soybeans in the standard mice meal showed no mutagenic effect on criteria recessive sex-linked lethal mutations (RSPLM) and dominant mutations (DM) in *Drosophila* and abnormal sperm in mice.
- ☼ **KEY WORDS:** mutagenesis; genetically modified soybeans; *Drosophila*; mouse; sex-linked recessive lethal mutations; dominant mutations; abnormal sperm.
- ☼ **REFERENCES (TRANSLITERATED)**
1. Bur'yanov Ya.I. (1999) Uspekhi i perspektivy genno-inzhenernoy biotekhnologii rasteniy [Progress and prospects of genetic engineering of plant biotechnology] // Fiziologiya rasteniy. T. 46 (6): S. 930–944.
 2. Geras'kin S.A., Sarapul'tseva E.I., Tsatsenko L.V., Glazer V.M., Abilev S.K., Smirnova S.G., Zamu-laeva I.A., Komarova L.N., Stepchenkova E.I., Inge-Vechtomov S.G., Kim A.I., Krutenko D.V., Evseeva T.I., Mikhaylova G.F., Amosova N.V. (2010) Biologicheskii kontrol' okruzhayushchey sredy: geneticheskii monitoring [Biological control of the environment: genetic monitoring]: ucheb. posobie dlya stud. vyssh. prof. obrazovaniya // pod red. Geras'kina S.A., Sarapul'tsevovoy E.I. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiy», 208 s.
 3. Glotov N.V., Zhivotovskiy A.A., Khovanov N.V., Khromov-Borisov N.N. (1982) Biometriya [Biometrics]. L.: LGU. 264 s.
 4. Ermakova I.V. (2006). Geneticheski modifitsirovannaya soya privodit k snizheniyu vesa i uvelicheniyu smertnosti krysyat pervogo pokoleniya. Predvaritel'nye issledovaniya [Genetically modified soy leads to weight loss and increased mortality rat pups of the first generation. Preliminary studies] // EkosInform. N 1: S. 4–10.
 5. Malashenko A.M., Surkova N.I. (1973) Induktsiya dominantnykh letaley k dietilsul'fatu u samtsov myshyey raznogo genotipa [Induction of dominant Letala to diethylsulfate in male mice of different genotypes] // Genetika. T. 9 (4): S. 147–149.
 6. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke mutagennykh svoystv farmakologicheskikh sredstv [Guidelines for the assessment of the mutagenic properties of pharmacological agents]. (1994). M.: Meditsina. 40 s.
 7. Pomerantseva M.D., Ramayya L.K., Vilkina G.A. (1980) Sravnitel'naya effektivnost' ispol'zovaniya raznykh testov dlya opredeleniya mutagennosti nekotorykh faktorov u mlekopitayushchikh [Comparative efficiency of different tests to determine the mutagenicity of some factors in mammals] // Genetika. T. 16 (8): S. 1397–1403.
 8. Tikhomirova M.M. (1990) Geneticheskii analiz: Ucheb. posobie [Genetic analysis: manual] // L.: Izd-vo Lenigr. Un-ta. 280 s.
 9. Fedorov L.A., Yablokov A.V. (1999) Pestitsidy — toksicheskiy udar po biosfere i cheloveku [Pesticides — a toxic impact on the biosphere and man]. — M.: Nauka. 462 s.

THE STUDY OF GENETICALLY MODIFIED SOYBEANS MUTAGENIC EFFECTS IN DROSOPHILA AND MOUSE

Barabanova L. V., Kovtun E. V.

☼ **SUMMARY:** The use of genetically modified soybeans (GM) as a food substrate during *Drosophila* reproduction, as well as the addition

10. Shchelkunov S.N. (2010) *Geneticheskaya inzheneriya: Ucheb.-sprav. posobie* [Genetic engineering: Textbook.-Ref. the manual]. — 4-e izd., ster. — Novosibirsk: Sib. univ. izd-vo. 514 s.
11. Herskowitz I.H. (1958) *Bibliography on the genetics of drosophila*. Bloomington: Indiana University Press, 296 p.
12. Soares E.R., Sheridan W., Haseman J.K., Segall K. (1979) Increased frequencies of aberrant sperm as indicators of mutagenic damage in mice // *Mutation research*. V. 64 (1): P. 27–35.
13. Wyrobek A.J., Bruce W.R. (1975) Chemical induction of sperm abnormalities in mice // *Proceedings of the National Ac. of Sci. of the USA*. V. 72 (11): P. 4425–4429.

✉ Информация об авторах

Барабанова Лариса Владимировна — к. б. н., доцент кафедры генетики и биотехнологии. СПбГУ. 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб, д. 7/9.

Ковтун Екатерина Валерьевна — начальник сектора экологического просвещения ГКУ «Дирекция ООПТ» Санкт-Петербурга.

Barabanova Larisa Vladimirovna — Ph. D., Associate Professor, Dept. Of Genetics and Biotechnology. St. Petersburg State University. 199034, Saint Petersburg, Universitetskaya nab., 7/9, Russia.

Kovtun Ekaterina Valer'yevna — Chief of the Environmental Education MAS “management of protected areas” of Saint Petersburg.