

## ДИНАМИКА ДОСТИЖЕНИЯ СТАДИИ ИМАГО ЖИВОТНЫМИ F1 ПОСЛЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ РОДИТЕЛЬСКИХ ДРОЗОФИЛ

© 2017 г. Н. Я. Вайсман<sup>а, \*</sup>, В. И. Федоров<sup>б, с</sup>

<sup>а</sup>Институт цитологии и генетики СО РАН  
630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10

<sup>б</sup>Институт лазерной физики СО РАН  
630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 13/3

<sup>с</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО  
197101 Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49

\*E-mail: weisman@bionet.nsc.ru

Поступила в редакцию 10.06.2016 г.

Окончательный вариант получен 20.09.2016 г.

Терагерцовое излучение (0.1–10 ТГц) все больше становится фактором среды обитания человека. Исследование последствий облучения позволяет оценить его возможную биологическую опасность. Наши данные свидетельствуют о том, что воздействие терагерцовым излучением на родительских дрозофил укорачивает период эмбрионального развития их потомков первого поколения. Достоверные отклонения данных от контроля обнаружены, когда подопытными родителями служили как самки, так и самцы. Наиболее высокой доля животных с ускоренным вылетом по сравнению с контролем была в потомствах, полученных от облученных самок. Сдвиг пика максимального вылета на более ранний срок обнаружен у потомков обоего пола. Таким образом, на модельном объекте дрозофиле впервые обнаружено, что воздействие терагерцового излучения на родителей может иметь позитивные или негативные последствия у потомков первого поколения.

*Ключевые слова:* дрозофила, развитие потомства, яйцеклетка, стресс, терагерцовое излучение, биологические эффекты электромагнитных полей

DOI: 10.7868/S0475145017020082

### ВВЕДЕНИЕ

Исследование биологических эффектов терагерцового (0.1–10 ТГц) излучения представляет большой интерес в связи с успешным развитием терагерцовой техники и намечающемся широким применением терагерцового излучения в различных областях жизнедеятельности (Wilmink, Grundt, 2011; Appleby, Chamberlain, 2014). Наряду с генерацией знаний такие исследования позволяют оценить возможную биологическую опасность терагерцового излучения. Вопрос об этом уже поставлен в научной литературе (Wilmink, Grundt, 2011; Федоров, 2014).

Ранее (Федоров и др., 2013) нами было показано, что у потомков мужского пола, происшедших от скрещивания самок, подвергшихся терагерцовому облучению, и необлученных самцов наблюдается отклонение от контрольных показателей динамики вылета и общей численности особей, достигших стадии имаго. У потомков женского пола отличий от контроля не наблюдается.

При этом обнаружено, что такой отклик на излучение имеет место только у особей, происшед-

ших из яйцеклеток, которые на момент облучения были зрелыми. Здесь следует отметить, что оогенез у самок дрозофилы происходит непрерывно, в силу чего в каждый момент времени яичники дрозофилы содержат яйцеклетки разной степени зрелости (Огиенко и др., 2007). У особей, происшедших из яйцеклеток, которые на момент облучения были незрелыми, эти показатели не отличаются от контроля.

В связи с таким результатом представляет интерес выяснить, как повлияет облучение родительских самцов и обоих родителей на эти показатели. Поскольку степень зрелости яйцеклеток облученных матерей является ключевым фактором в отклике динамики развития потомства на терагерцовое излучение, в данном исследовании изучали как влияет терагерцовое излучение на достижение стадии имаго и численность потомства дрозофил F1 в случае скрещивания облученных и необлученных родительских особей (в различных сочетаниях) и развившегося из яйцеклеток, достигших зрелого состояния к моменту облучения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В эксперименте использовали дрософил обоего пола линии Oregon R из фонда Института цитологии и генетики СО РАН, которых отбирали в опыт сразу после вылета имаго. Мух содержали в стандартных условиях в течение двух дней. Самцов и самок содержали раздельно. На третий день мух каждого пола помещали раздельно по 30 особей в контейнеры для облучения (стандартные пробирки Эппендорф высотой 50 мм и диаметром 5.5 мм). Диаметр пробирки соответствует диаметру терагерцового луча (5 мм). Отверстия пробирок закрывали пленкой из парафилма, в которой предварительно проделывали иглой отверстия для поступления воздуха. В проверочном эксперименте установлено, что в натянутом состоянии пленка поглощает не более 1% излучения.

Общее число облученных животных составило по 60 особей каждого пола. Они были подвергнуты терагерцовому облучению в течение 30 мин. В качестве источника терагерцового излучения использовали лазерную систему, созданную в Институте автоматики и электрометрии СО РАН. Система генерирует широкополосное импульсное терагерцовое излучение в диапазоне 0.1–2.2 ТГц с длительностью импульса 1 пс, мощностью в импульсе 8.5 мВт. Частота повторения импульсов 76 МГц. Излучение модулируется с частотой 10 кГц. Подробное описание системы дано в работе (Анцыгин и др., 2010).

Такой тип генератора терагерцового излучения был выбран нами в связи с тем, что с такими же или близкими параметрами частот, длительности импульса, мощности в импульсе и частоты повторения импульсов он широко используется в исследовательской и медицинской практике. При изучении биологических эффектов терагерцового излучения он применяется в России и в лабораториях мира. В медицинских работах — для визуализации тканей в диагностических целях, для контроля качества лекарственных препаратов и продуктов питания. Изучение его биологических эффектов важны и в связи с интенсивными физическими исследованиями (оптика, лазерная физика) возможностей расширения его применения в технике.

В качестве контроля использовали мух, которые во время облучения находились возле источника в пробирках Эппендорф, но не попадали в зону облучения (по 60 особей каждого пола).

Реципрокные скрещивания дрософил проводили между облученными (Т), и интактными (во время опыта культура находилась в стандартных лабораторных условиях, LC) или необлученными (контрольными, WT) и интактными дрософилами линии Oregon R. Для этого в каждый стандартный стакан с кормом помещали на 2 дня по 10 самцов и 10 самок в соответствии со схемой скрещива-

ния. Каждый вариант скрещивания осуществляли в трех повторностях.

Затем родительских мух отсаживали и наблюдали за динамикой достижения стадии имаго при 25°C потомством F1, полученном от этой двухсубточной кладки яиц при каждом скрещивании. Следует отметить, что кладки от самок в первые два дня после облучения соответствуют зрелым на момент облучения яйцеклеткам.

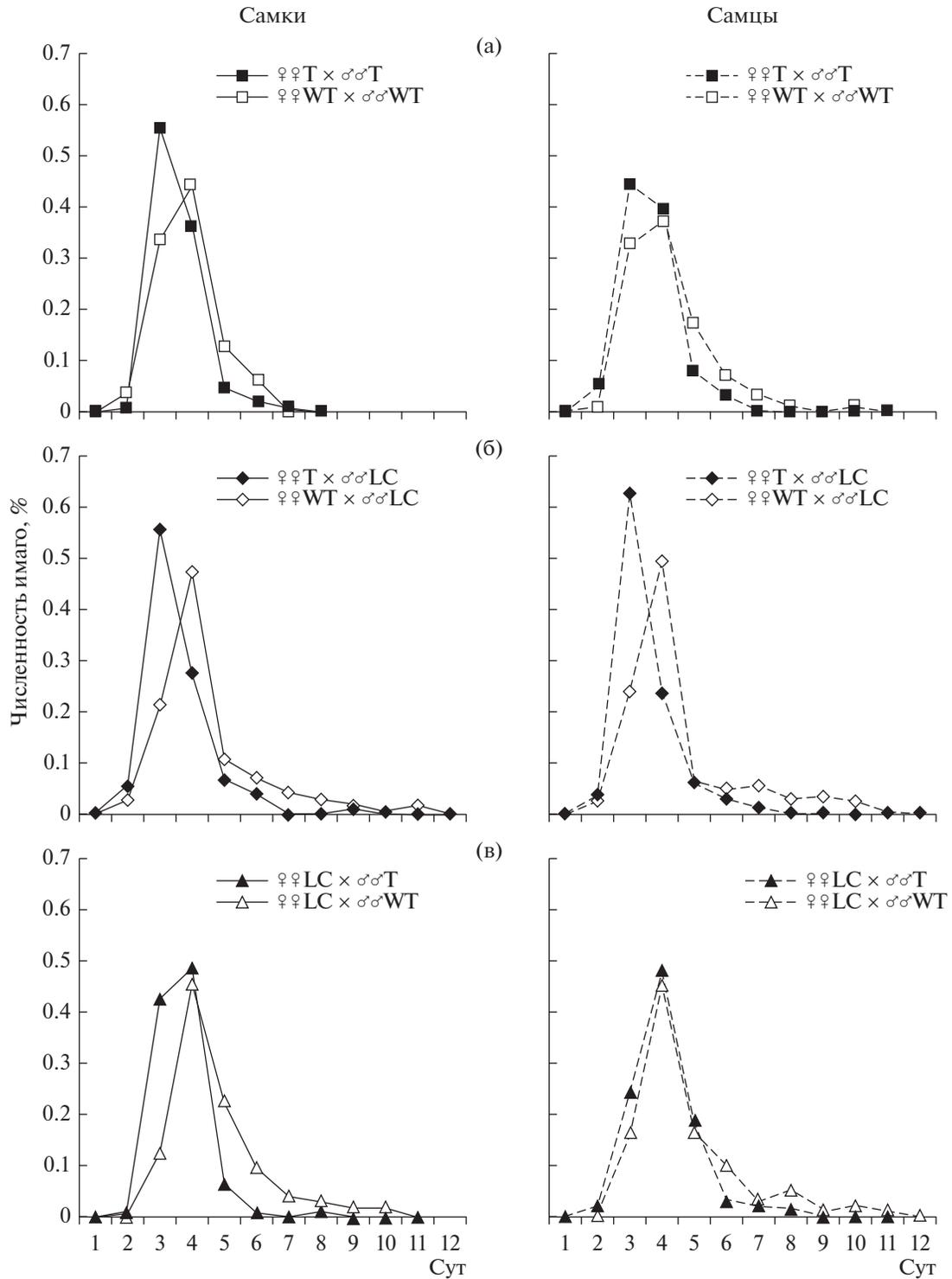
Начиная с первого дня вылета имаго, в потомстве всех групп F1 каждый день регистрировали численность вылетевших мух, их пол и оценивали динамику вылета имаго до последнего дня вылета. Анализировали суммарные данные, полученные от трехкратного повторения каждого варианта скрещивания.

Специфические эффекты влияния терагерцового излучения на изучаемые признаки оценивали статистическими методами, сравнивая полученные данные с данными контрольных групп. Для определения достоверности различий между кривыми динамики вылета в выборках дрософил применяли логранговый тест (Bland, Altman, 2004). Соответствие экспериментальных расщеплений по признаку пола теоретически ожидаемым оценивали с помощью критерия  $\chi^2$  (Рокицкий, 1973).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В первой группе контроля (скрещивание ♀♀WT × ♂♂WT, необлученные самки и необлученные самцы) первые вылеты потомства F1 обоего пола зарегистрированы на 11-е сутки от начала спаривания. Количество вылетевших мух было незначительным и составило у самцов 0.9%, у самок — 3.6% от общего числа особей соответствующего пола, достигших стадии имаго. На следующие сутки вылет самцов и самок был практически равным и составил, соответственно, 32.4 и 33.3% от общего числа мух соответствующего пола, достигших в итоге стадии имаго. Максимальный вылет у мух произошел на третьи сутки периода вылета и составил у самцов 36.9%, у самок — 44.1% от общего числа вылетевших мух каждого пола. Через 2 сут вылет самок завершился. Вылет самцов продолжался непрерывно до 7 сут. Затем был дополнительный небольшой вылет (0.9% от общего числа вылетевших самцов) на 9-е сутки (рисунок, а). Несмотря на эти вариации, кривые динамики вылета самцов и самок достоверно не отличались ( $\chi^2 = 2.17$ ). Общее число вылетевших самцов и самок оказалось сходным (в обоих случаях по 111 особей). Соотношение полов составило 1 : 1.

В потомстве F1 от второго скрещивания контрольных дрософил ♀♀WT × ♂♂LC (необлученные самки и интактные самцы), первый вылет особей обоего пола состоялся на 11-е сутки от на-



Сравнение с контролем кривых вылета при 25°C потомств F1 от скрещиваний облученных дрозофил: ♀♀T × ♂♂T (а), ♀♀T × ♂♂LC (б) и ♀♀LC × ♂♂T (в).

чала спаривания. Количество вылетевших мух было незначительным и составило у самцов 2.2%, у самок – 2.4% от общего числа особей соответствующего пола, достигших стадии имаго (265 и 242 особи, соответственно). На следующие сутки

вылет самцов и самок был практически равным и составил, соответственно, 23.7 и 21.4% от общего числа мух соответствующего пола, достигших в итоге стадии имаго. Максимальный вылет был на 13-е сутки и составил у самцов и самок около по-

ловины всех вылетевших особей (49.8 и 47.5%, соответственно). Затем численность вылетевших особей обоего пола последовательно уменьшалась. Общая длительность вылета составила у самцов и самок по 10 сут (рисунок, б). Кривые вылета самцов и самок практически совпали ( $\chi^2 = 0.003$ ). Соотношение полов составило 1 : 0.9.

В потомстве F1 от реципрокного контрольного скрещивания ♀♀LC × ♂♂WT (интактные самки и необлученные самцы) первый вылет особей обоего пола состоялся на 12-е сутки от начала спаривания и составил 16.4% (самцы) и 12.3% (самки) от общего числа особей соответствующего пола, достигших стадии имаго (182 и 178 особей соответственно). На следующие сутки зарегистрирован максимальный вылет, который составил у самцов и самок по 45% от общего числа особей за весь период. Затем отмечен вылет, составивший 16.4% у самцов и 22.4% у самок. После этого у обоих полов отмечено последовательное уменьшение численности вылетающих особей. Вылет самцов продолжался в общей сложности 9 и самок 8 сут (рисунок, в). Несмотря на эти вариации, кривые динамики вылета самцов и самок достоверно не отличались ( $\chi^2 = 0.04$ ). Соотношение полов составило 1 : 1.

В потомстве от скрещивания ♀♀T × ♂♂T (облученные самки и облученные самцы), вылет имаго, как самцов, так и самок, начался на 11-е сутки от начала спаривания. Численность вылетевших мух в этот день была незначительной и составила 5.1% (самцы) и 0.6% (самки) от общего числа мух соответствующего пола, достигших в итоге стадии имаго (в обоих случаях по 156 особей). На следующие сутки зарегистрировано максимальное по сравнению с другими днями число вылетевших особей обоего пола: 44.2% (самцы) и 56.7% (самки). В третьи сутки вылет составил 39.7% у самцов и 36.5% у самок. Затем численность имаго резко уменьшилась у особей обоих полов. Общая длительность вылета составила у самцов всего 5, у самок 6 суток (рисунок, а). Кривые динамики вылета самцов и самок достоверно не отличались ( $\chi^2 = 0.27$ ). Соотношение полов составило 1 : 1.

В потомстве от скрещивания ♀♀T × ♂♂LC (облученные самки и интактные самцы), вылет имаго, как самцов, так и самок, также начинался на 11-е сутки от начала спаривания. Численность вылетевших особей в этот срок была незначительной: 3.5% (самцы) и 5.6% (самки) от общего числа мух соответствующего пола, достигших в итоге стадии имаго (114 и 125 особей соответственно). На следующие сутки отмечено максимальное число вылетевших особей обоего пола, как и в группе потомства, полученного от скрещивания обоих облученных родительских особей. Численность вылетевших мух составила

63.1% (самцы) и 56.0% (самки). Третьи сутки вылета характеризовались уменьшением численности вылетевших особей до 23.6% (самцы) и 27.2% (самки). Затем численность вылетевших особей резко снизилась. Длительность периода вылета составила у самцов 6, у самок 5 суток с дополнительным минимальным (0.8%) вылетом на 8-е сутки (рисунок, б). Достоверных отличий кривых динамики вылета самцов и самок не обнаружено ( $\chi^2 = 0.15$ ). Соотношение полов составило 1 : 1.09.

В потомстве от обратного варианта скрещивания ♀♀LC × ♂♂T (интактные самки и облученные самцы) вылет имаго как самцов, так и самок также начался на 11-й день от начала спаривания. В этот день численность вылетевших особей обоих полов была незначительной: 2.2% (самцы) и 0.8% (самки) от общего числа мух соответствующего пола, достигших в итоге стадии имаго (135 и 113 особей соответственно). На следующий день численность вылета составила 24.4% у самцов и 42.4% у самок. На третий день от начала вылета численность вылетевших особей составила 48.1% у самцов и 48.6% у самок. Затем численность вылета резко уменьшилась у самцов и особенно у самок (18.5 и 6.1% соответственно). Общая длительность вылета составила у самцов и самок 7 дней (рисунок, в). Кривые динамики вылета самцов и самок отличались достоверно ( $\chi^2 = 4.86$ ). Соотношение полов составило 1 : 0.83. Отличие экспериментального расщепления по признаку пола от теоретически ожидаемого во всех группах было недостоверным по критерию  $\chi^2$ .

Кривые вылета и самцов, и самок в целом в подопытных и контрольных группах дрозофил F1, полученных в подобных скрещиваниях, существенно отличались (рисунок, табл. 1). Когда был облучен один из родителей, сравнивали с контролем кривые потомств от скрещивания облученных родительских самок с интактными самцами и от скрещивания облученных родительских самцов с интактными самками ( $\chi^2 = 23.61$  и  $\chi^2 = 27.8$  для самок соответственно;  $\chi^2 = 27.15$  и  $\chi^2 = 8.41$  для самцов соответственно;  $p < 0.05$ ). В случае, когда облучены оба родителя, отличия кривых вылета самок и самцов от контроля также были достоверны ( $\chi^2 = 3.67$   $0.1 < p > 0.05$  и  $\chi^2 = 8.17$   $p < 0.05$  соответственно).

Различия между экспериментальными и контрольными данными возникают из-за более раннего наступления максимума вылета дрозофил после воздействия терагерцовым излучением на одного или обоих родительских животных и более короткого у них периода вылета. Другими словами облучение, возможно, вызывает в зародышевых клетках негенетические изменения, которые ускоряют эмбриональное развитие потомков F1 (рисунок, табл. 2). Эффект облучения на развитие

животных возникал от воздействия на родительских дрозофил обоего пола.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Терагерцовое излучение все больше становится фактором среды обитания человека. Опыты с животными позволяют моделировать возможные последствия взаимодействия человека с таким облучением. Наши данные свидетельствуют о том, что воздействие терагерцовым излучением на родительских дрозофил укорачивает период эмбрионального развития их потомков первого поколения. Результат существенно не зависит от направления скрещивания. Достоверные отклонения данных от контроля обнаружены, когда подопытными родителями служили как самки, так и самцы. Наиболее высокой доля животных с ускоренным вылетом по сравнению с контролем была в потомствах, полученных от облученных самок. Сдвиг пика максимального вылета на более ранний срок обнаружен у облученных потомков обоего пола. Результаты исследования согласуются с данными нашего предыдущего исследования (Федоров и др., 2013).

Известно, что воздействуя на родителей и прародителей экстремальной температурой или другими факторами, можно получить негенетические изменения фенотипа потомства, которые называют меж-генерационными эпигенетическими эффектами. Индуцированные внешними условиями эпигенетические модификации фенотипов обнаружены в разных таксономических классах живых организмов от круглого червя нематоды до человека. Если воздействию подлежат родительские зародышевые клетки или зародыши у беременных матерей, эпигенетические модификации проявляются в поколении F1 (Rissman, Adli, 2014). Возникнув, эпигенетический статус сохраняется на протяжении жизни потомства (Morgan et al., 2008).

Эпигенетические эффекты теплового воздействия в период детерминация фенотипа потомков F1 в ходе раннего оогенеза у матерей были обнаружены и исследованы в опытах на дрозофиле. Кратковременное нагревание и охлаждение зародышевых клеток приводило к изменению в проявлении мутаций *forked* и *eyeless* (Светлов, Корсакова, 1974). У мышей кратковременное прогревание беременной самки вызывало изменения ооцитов эмбрионов, гетерозиготных по рецессивной мутации микрофтальмии, которые приводили к ослаблению экспрессии мутации у потомков F2 (Светлов, Корсакова, 1966).

У человека в зависимости от образа жизни, болезней, диеты и вредных привычек родителей у детей могут возникать эпигенетические эффекты. В Нидерландах изучали группу матерей, рожденных в Амстердаме в период между августом

**Таблица 1.** Значения  $\chi^2$  при сравнении кривых выживаемости потомств F1 от разных вариантов скрещивания с контролем

Скрещивание (число мух)	Значения $\chi^2$
Самки	
♀♀T × ♂♂T (156) ♀♀WT × ♂♂WT (111)	3.67**
♀♀T × ♂♂LC (125) ♀♀WT × ♂♂LC (242)	23.61*
♀♀LC × ♂♂T (113) ♀♀LC × ♂♂WT (178)	27.8*
Самцы	
♀♀T × ♂♂T (156) ♀♀WT × ♂♂WT (111)	8.17*
♀♀T × ♂♂LC (114) ♀♀WT × ♂♂LC (265)	27.15*
♀♀LC × ♂♂T (135) ♀♀LC × ♂♂WT (182)	8.41*

T – облученные, WT – необлученные, LC – лабораторная культура, ♀♀ – самки, ♂♂ – самцы; \* –  $p < 0.05$ ; \*\*  $0.1 < p > 0.05$ .

1944 и апрелем 1946, который включал голодную военную зиму, и их детей, рожденных между 1960 и 1985 годами. Полученные данные позволили предположить, что плохое внутриутробное питание матерей отразилось на свойствах развивающихся у них яйцеклеток и произвело отдаленный биологический эффект на вес следующего поколения (Lumey, Stein, 1997).

Эпигенетические эффекты, связанные с развитием и здоровьем потомства, после внешних воздействий на отцов упоминаются не часто. Например, обнаружена взаимосвязь между доступностью пищи в предпубертатном периоде у отцов и риском смертности от сердечно-сосудистых заболеваний или диабета у их потомков. Скудное питание или голод отцов понижает смертность их сыновей от этих заболеваний (Kaati et al., 2002). Раннее курение отцов приводит к увеличенной массе тела у мальчиков в F1 (Pembrey et al., 2006).

Одной из причин возникновения эпигенетических состояний считается эктопическое метилирование ДНК, сопровождающееся изменением экспрессии генов. У человека изменение паттерна метилирования в гаметах связывают с предрасположенностью к диабету или шизофренией (Pidsley et al., 2014; Wei et al., 2015). К числу эпигенетических механизмов относят также энзиматические модификации гистонов и изменение транскрипции малыми некодирующими РНК на уровне структуры хроматина (miRNA, siRNA) (Ванюшин, 2013; Rissman, Adli, 2014). Прямая связь между воздействием терагерцового излучения и

**Таблица 2.** Динамика вылета дрозophil F1 в контроле и в опыте в первые трое суток

Скрещивание	Дни вылета, доля мух, %			Число мух
	1	2	3	
Самки				
♀♀T × ♂♂T	0.6	56.7	36.5	156
♀♀WT × ♂♂WT	3.6	33.3	44.1	111
♀♀T × ♂♂LC	5.6	56.0	27.2	125
♀♀WT × ♂♂LC	2.4	21.4	47.5	242
♀♀LC × ♂♂T	0.8	42.4	48.6	113
♀♀LC × ♂♂WT	—	12.3	45.0	178
Самцы				
♀♀T × ♂♂T	5.1	44.2	39.7	156
♀♀WT × ♂♂WT	0.9	32.4	36.9	111
♀♀T × ♂♂LC	3.5	63.1	23.6	114
♀♀WT × ♂♂LC	2.2	23.7	49.8	265
♀♀LC × ♂♂T	2.2	24.4	48.1	135
♀♀LC × ♂♂WT	—	16.4	45.0	182

изменением экспрессии генов *katG* и *copA* установлена в эксперименте с *E. coli*. Обнаружена стабильная индукция экспрессии репортерного гена GFPc промотором *katG* в течение длительного времени после терагерцового облучения (Demidova et al., 2013).

Таким образом, воздействие терагерцового излучения на динамику наступления стадии имаго может быть связано с одним или разными механизмами, изменяющими экспрессию генов и сигнальных путей, контролирующих развитие дрозофилы.

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01) и частично поддержана финансированием по бюджетному проекту ИЦиГ СО РАН № 0324-2015-2004.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анцыгин В.Д., Мамрашев А.А., Николаев Н.А. и др. Малогабаритный терагерцовый спектрометр с использованием второй гармоники фемтосекундного волоконного лазера // Автотририя. 2010. Т. 46. № 3. С. 110–117.

Ванюшин Б.Ф. Эпигенетика сегодня и завтра // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. № 4/2. С. 805–831.

Огиенко А.А., Федорова С.А., Баричева Э.М. Основные аспекты развития половой системы самок *Drosophila melanogaster* // Генетика. 2007. Т. 43. № 10. С. 1341–1357.

Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. Минск: Высшая школа, 1973. 319 с.

Светлов П.Г., Корсакова Г.Ф. Зависимость фенотипа микрофтальмической мутации у мышей от внешних воздействий на гаметы самок двух предшествующих поколений // Генетика. 1966. Т. 2. № 5. С. 66–81.

Светлов П.Г., Корсакова Г.Ф. Новые данные о наследуемом адаптивном повышении теплоустойчивости мутантов *forked Drosophila melanogaster* при повторных термических шоках // Онтогенез. 1974. Т. 5. № 1. С. 87–89.

Федоров В.И. Биологическая опасность терагерцового излучения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2014. № 1. С. 34–41.

Федоров В.И., Вайсман Н.Я., Немова Е.Ф. и др. Влияние терагерцового излучения на численность и динамику развития потомства F1 стрессированных самок дрозофил // Биофизика. 2013. Т. 58. № 6. С. 1043–1050.

- Федоров В.И., Вайсман Н.Я.* Продолжительность жизни потомства F1 самок дрозофил, подвергнутых воздействию низкоинтенсивного терагерцового излучения // *Биофизика*. 2015. Т. 60. № 5. С. 1009–1017.
- Appleby R., Chamberlain J.M.* Terahertz frequency security systems and terahertz safety considerations. In: *Physics and Applications of Terahertz Radiation* // Eds. Perenzoni M. and Paul D.J. London: Springer, 2014. P. 233–255.
- Bland J.M., Altman D.G.* The logrank test // *Br. Med. J.* 2004. V. 328. № 7447. P. 1073.
- Demidova E.V., Goryachkovskaya T.N., Malup T.K. et al.* Studying the non-thermal effects of terahertz radiation on *E. coli/pKatG-GTP* biosensor cells // *Bioelectromagnetics*. 2013. V. 34. № 1. P. 15–21.
- Kaati G., Bygren L.O., Edvinsson S.* Cardiovascular and diabetes mortality determined by nutrition during parents' and grandparents' slow growth period // *Eur. J. Hum. Genet.* 2002. V. 10. № 11. P. 682–688.
- Morgan D.K., Whitelaw E.* The case for transgenerational epigenetic inheritance in humans // *Mamm. Genome*. 2008. V. 19. № 6. P. 394–397.
- Pembrey M.E., Bygren L.O., Kaati G. et al.* Sex-specific, male-line transgenerational responses in humans // *Eur. J. Hum. Genet.* 2006. V. 14. № 2. P. 159–166.
- Pidsley R., Viana J., Hannon E. et al.* Methylomic profiling of human brain tissue supports a neurodevelopmental origin for schizophrenia // *Genome Biol.* 2014. 15:483.
- Rissman E.F., Adli M.* Transgenerational epigenetic inheritance: focus on endocrine disrupting compounds // *Endocrinology*. 2014. V. 155. № 8. P. 2770–2780.
- Wei Y., Schatten H., Sun Q.* Environmental epigenetic inheritance through gametes and implications for human reproduction // *Human Reproduction Update*. 2015. V. 21. № 2. P. 194–208.
- Wilmink G.J., Grundt L.E.* Current state of research on biological effects of terahertz radiation // *J. Infrared Millimeter Terahertz Waive*. 2011. V. 32. № 10 P. 1074–1122.

## Dynamics of Reaching Imago Stage by F1 Animals after Terahertz Radiation of Parental *Drosophila*

N. Ya. Vaisman<sup>1,\*</sup> and V. I. Fedorov<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Laser Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russia*

<sup>3</sup>*St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia*

\* e-mail: [weisman@bionet.nsc.ru](mailto:weisman@bionet.nsc.ru)

Received June 10, 2016; in final form, September 20, 2016

Terahertz radiation (0.1–10 THz) is increasingly becoming a factor of human habitat. The study of the consequences of radiation allows one to estimate its possible biological danger. Our data indicate that the effect of terahertz radiation on parental *Drosophila* shortens the period of embryonic development of their first generation descendants. Significant deviations of data from the control were found, when both females and males were experimental parents. The highest portion of animals with accelerated flight as compared with the control was found in progenies from irradiated females. The shift of maximal flight peak to an earlier period was found in descendants of both sexes. Thus, it was for the first time found on the model object (*Drosophila*) that the effect of terahertz radiation on parents can have positive or negative consequences in the first generation descendants.

**Keywords:** *Drosophila*, development of progeny, egg cell, stress, terahertz radiation, biological effects of electromagnetic fields