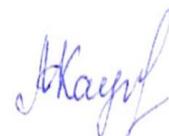


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Х.М. БЕРБЕКОВА»**

на правах рукописи



КАУФОВА МАДИНА АМИЛЬЕВНА

**ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАЗНЫХ ЧАСТОТ НА
ОНТОГЕНЕЗ И БИОРЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЖИВЫХ СИСТЕМ**

1.5.20 - биологические ресурсы

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:
заслуженный деятель науки КБР,
доктор биологических наук,
профессор Дзиев Руслан Исмагилович

Владикавказ-2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	10
1.1 Электромагнитное поле как фактор внешнего воздействия на состояние биологического ресурса	10
1.2 Биологические эффекты и вероятные механизмы действия ЭМП на биоресурсный потенциал.....	12
1.3 <i>Drosophila melanogaster</i> как объект для изучения внешних воздействий ЭМП на биологические системы.....	24
1.4 Повышение биоресурсного потенциала <i>Solanum tuberosum</i> с применением различных технологий.....	33
1.5 Заключение.....	38
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	39
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАЗНЫХ ЧАСТОТ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ <i>DROSOPHILAMELANOGASTER</i>	45
3.1 Влияние ПеМП разных частот на индивидуальное развитие <i>Drosophila melanogaster</i> в условиях эксперимента	45
3.2 Влияние ПеМП разных частот на репродуктивный потенциал <i>Drosophila melanogaster</i>	51
3.3 Оценка вклада отдельных факторов в выявленные биологические эффекты.64	
3.4 Влияние ПеМП разных частот на половую структуру экспериментальных групп <i>Drosophila melanogaster</i>	67
3.5 Влияние ПеМП разных частот на морфологические признаки <i>Drosophila melanogaster</i>	80
ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАЗНЫХ ЧАСТОТ НА БИОРЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ <i>SOLANUM TUBEROSUM</i>	95
4.1 Влияние ПеМП разных частот на всхожесть клубней картофеля в условиях КБР.....	96
4.2 Влияние ПеМП разных частот на биометрические показатели картофеля... 102	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	109
ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ	112
СП	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Все живые системы существуют, постоянно взаимодействуя с различными факторами окружающей среды, адаптируясь к их воздействию и используя их в жизненных процессах. К таким факторам воздействия относятся и электромагнитные излучения.

Со временем, помимо естественного электромагнитного поля, появились еще различные поля и излучения имеющие антропогенное происхождение, оказывающие огромное влияние на биологические ресурсы нашей планеты.

В настоящее время невозможно представить нашу жизнь без радиотехнических устройств и технологических процессов, сотовой и других видов мобильной связи, теле- и радиовещания, оборудования дистанционного мониторинга и др., за счет которых увеличивается уровень электромагнитного излучения в окружающей среде и приводит к появлению термина - электромагнитное загрязнение окружающей среды.

В связи с этим, изучение воздействия электрических полей на биологические ресурсы считается актуальным в настоящее время, и исследования в этом направлении ведутся с давних времен (Кармилов, 1948; Becker, 1965, 1977; Лазаревич, 1978; Лучкина и др., 1982; Ачкасова, 1984; Grets, 1989; Шпигельман и др., 1991; Эндебера, 1996; Rapley, 1998; Сидоренко, 2001; Чуприкова, 2003; Хандохов, 2004; Федоров и др., 2012; Никитина, 2017 и др.).

Актуальность подобных исследований определяется еще и отсутствием в научной литературе единого мнения о последствиях воздействия электромагнитного излучения на живые организмы.

По данным Д. В. Шевеля (2002), отрицательное действие электромагнитного поля различных происхождений на биологические системы выражается в замедлении естественного развития организмов, снижении двигательной активности и выживаемости микроорганизмов, нарушении

эмбрионального и личиночного развития, снижении биохимических реакций и т.д.

Помимо того, что электромагнитное поле оказывает отрицательное действие на состояние биологических систем, существует много исследований, доказывающих положительное влияние электромагнитного поля техногенного происхождения на живые организмы (Кармилов, 1948; Авакян и др., 1965; Агаджанян и др., 2005; Усанов и др., 2008; Беляченко, 2009; Стацюк, 2016 и др.).

В последнее время все больше возрастает интерес к изучению и использованию различных физических факторов как один из методов повышения урожайности и стимулирующего воздействия на рост и развитие различных сельскохозяйственных культур. В исследованиях многих авторов показано большие преимущества растений, выросших из семян после облучения (Ковалева, 2014). Однако механизмы электромагнитного воздействия на растения, как и на другие биологические объекты, до конца не выявлены.

Вместе с тем, эти и последующие исследования остаются недостаточно информативными для решения современных биоресурсных, экологических и генетических проблем. Они не дают ответа на значение хронического облучения и о последствиях, вызываемых переменным магнитным полем (ПеМП). Кроме того, практически отсутствуют данные по генотипической чувствительности живых систем на действие ПеМП.

Исходя из вышеизложенного, а также ввиду отсутствия общепринятых теорий действия магнитных полей на живые объекты, нам представляется весьма **актуальным** изучение влияния переменного магнитного поля разных частот на биологические системы, и показать его как отрицательное, так и положительное влияние на живые организмы на примере такой известной животной тест-системе как дрозофила (*Drosophila melanogaster* M) и растительной тест-системе картофель (*Solanum tuberosum* L).

Степень разработанности темы исследования. Большинство проведенных исследований (Pittman, 1963,1964; Becker, 1965; Brawn, 1969; Лазаревич, 1978; Quinn, 1982; Варенцова и др., 1985; Vizi, 1992; Новиков и др.,

2002; Усанов и др., 2004, 2008; Зайнуллин и др., 2006; Рзянина, 2010; Олейникова, 2011; Корнилова, 2012; Вайсман и др., 2015 и др.) посвящены изучению влияния магнитных полей различных параметров на отдельные показатели жизнедеятельности биологических объектов.

В настоящее время *Drosophila melanogaster* служит удобным тест-объектом для оценки биологического действия факторов внешнего воздействия на живые системы, поэтому нам представляется особенно перспективным изучение влияния переменного магнитного поля разных частот на морфофизиологические признаки *Drosophila melanogaster*. Также большой интерес вызывает оценка возможности использования ПеМП разных частот для увеличения урожайности и повышения эффективности сельскохозяйственного производства на примере *Solanum tuberosum*.

Цель работы: изучить влияние ПеМП разных частот на морфофизиологические и эколого-биологические параметры с использованием тест-систем животного (*Drosophila melanogaster*) и растительного (*Solanum tuberosum*) происхождения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи:**

1. Установить действие ПеМП избранного режима на продолжительность жизненного цикла и репродуктивный потенциал различных линий дрозофил от частоты облучения;
2. Выявить, какой из используемых параметров (генотип линий, частота облучения или их взаимодействие) является ведущим в ответной реакции тест-системы на воздействие ПеМП, с использованием метода дисперсионного анализа;
3. Определить влияние различных частот ПеМП на половую структуру экспериментальных групп дрозофил;
4. Изучить изменчивость регистрируемых морфологических признаков у дрозофил разных линий под действием ПеМП разных частот;

5. Определить влияние ПеМП разных частот на всхожесть и биометрические показатели картофеля при предпосадочной обработке клубней ПеМП разных частот.

Научная новизна. Впервые на 9 линиях *Drosophila melanogaster*, различающихся по морфологическим признакам, получены результаты влияния переменного магнитного поля разных частот (8000 Гц, 15000 Гц, 20000 Гц) на продолжительность жизненного цикла, реальную репродуктивную способность, характер распределения полов у изученных линий, и на проявление изменения фенотипических признаков.

Установлено, что действие ПеМП удлиняет продолжительность сроков развития дрозофил за счет задержки личиночного периода и стадии куколки. Репродуктивная способность начинает снижаться при частоте ПеМП 15000 Гц. В этом опытном варианте, и при увеличении частоты ПеМП, нарушается соотношение полов дрозофил за счет количественного превалирования особей женского пола. Использование двухфакторного дисперсионного анализа данных показало, что генотипический фактор оказывает ведущую роль. Также впервые отмечены некоторые морфологические изменения у дрозофил. Увеличение частоты воздействия ПеМП приводит к повышению количества и образованию новых морфозов у дрозофил.

Также впервые получены результаты по исследованию влияния ПеМП разных частот на биоресурсный потенциал раннеспелого сорта «Удача» и среднеспелого сорта «Нарт-1» картофеля в условиях КБР. Установлено, что при предпосадочной обработке клубней картофеля увеличивается их всхожесть по сравнению с контролем, а также достоверно увеличивается биометрические показатели картофеля, тем самым повышая урожайность используемой культуры.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты исследования о воздействии ПеМП на морфофизиологические признаки у *Drosophila melanogaster* дают более существенные представления об их влиянии на живые системы. Дрозофила рекомендована к использованию в качестве модельного объекта биологии для изучения влияния антропогенных факторов внешней среды,

в частности, для изучения влияния ПеМП на биоресурсы. А результаты, полученные при исследовании воздействия ПеМП разных частот на биоресурсный потенциал картофеля имеют практическое значение и можно использовать для повышения урожайности сельскохозяйственных культур растений, а также дополнить существующие системы выращивания картофеля. ПеМП разных частот, как один из физических факторов, можно рекомендовать как метод увеличения продуктивности многих культурных растений в сельском хозяйстве.

Методология и методы исследования. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с общепринятыми методиками и указаниями. Использовали методику работы с дрозофилой, предложенной в книге «Практическая генетика» Н.Н. Медведева (1968). При проведении исследований по изучению влияния ПеМП разных частот на продуктивность картофеля пользовались методикой полевого опыта Б.А. Доспехова (1985) и требованиями ГОСТ картофелеводства.

Экспериментальные данные обработаны статистически с использованием методов: критического значения χ^2 (критерия Пирсона); критического значения t - критерия Стьюдента; двухфакторного дисперсионного анализа (Лакин, 1980).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. ПеМП оказывает влияние на индивидуальное развитие и репродуктивный потенциал дрозофил;
2. Воздействие ПеМП разных частот на биологические объекты зависит от генотипического фактора;
3. ПеМП влияет на соотношение полов дрозофил в экспериментальных группах;
4. ПеМП оказывает влияние на морфологические признаки дрозофил;
5. Предпосадочная обработка клубней картофеля ПеМП разных частот оказывает положительное влияние на биоресурсный потенциал картофеля.

Степень достоверности результатов. Достоверность экспериментальных данных подтверждена использованием ряда статистических методов, анализом с помощью дисперсионного метода, а также сопоставлением результатов

исследований с данными, полученными другими исследователями.

Апробация работы. По материалам диссертации опубликовано 12 статей, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК РФ -7 статей. Основные положения работы были представлены на XI международной научной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа» (Магас, 2009), V международной конференции молодых ученых «Биоразнообразие. Экология. Приспособление. Эволюция» (Одесса, 13-17 июня 2011г.), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Грозный, 14-15 мая 2012г.), V международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины» (Ростов, 3-5 октября 2013г.), XV международной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России» (Махачкала, 5-6 ноября, 2013г.), в рецензируемых журналах - «Научное мнение» (Санкт-Петербург, 2013), «Перспективы науки» (Тамбов, 2013), «Фундаментальные исследования» (Москва, 2013), «Естественные и технические науки» (Москва, 2019, 2021), Известия ГГАУ (Владикавказ, 2019, 2021).

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 130 страницах и содержит 18 таблиц и 25 рисунков. Состоит из введения, обзора литературы, материала и методов исследования, результатов исследований, заключения, практических предложений и списка использованной литературы, который содержит 169 источников, в том числе 42 зарубежных.

Личный вклад автора состоит в анализе литературных данных, в выполнении экспериментальной части исследования, анализе и обобщении полученных результатов, и их статистической обработке, формировке выводов, а также в подготовке основных публикаций по теме исследования (в том числе в соавторстве).

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Электромагнитное поле как фактор внешнего воздействия на состояние биологического ресурса

Согласно материалам Е.К. Еськова (1998), электромагнитные поля (ЭМП), наряду с температурным, световым и другими физическими воздействиями на организм, относятся к основным факторам окружающей среды. Экологическая специфика ЭМП выражается в том, что в отличие от других первичных экологических факторов многие организмы не проявляют выраженной адаптации к этому фактору. Этим объясняются противоречия в интерпретации многих экологических и физиологических эффектов ЭМП.

Еще с давних времен был актуальным вопрос о влиянии магнитного поля на окружающую среду. Впервые свойства магнитного поля описал в своей книге естествоиспытатель и врач В. Гильберг в 1600 году. Отсюда возникло понятие магнитного поля и началось его изучение.

По материалам А.Б. Бурлакова и др. (2007), естественные, т.е. природные источники электромагнитного поля можно разделить на: электрическое и магнитное поле Земли, радио излучение Солнца, атмосферное электричество и биологический электромагнитный фон. К естественным относятся геомагнитное поле Земли (ГМП), атмосферные разряды, видимый свет, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение и ионизирующее излучение.

По мнению авторов (Бурлаков и др., 2007), Солнце является основным естественным источником излучения в ультрафиолетовом, инфракрасном и видимом диапазонах, где интенсивность фона зависит от магнитного поля Земли, солнечной активности, состояния атмосферы и др.

Как считает Ю.Б. Кудряшов с сотрудниками (2008), дневной свет (видимый диапазон) и солнечное тепло человек ощущает от электромагнитных волн, идущие от Солнца, а УФ – диапазон солнечного излучения проявляется в виде пигментации кожи (загар). Рентгеновское и γ -излучении человек не ощущает.

Согласно данным Г.В. Федорович (2004) и А.В. Ковалевой (2009), источники ЭМП антропогенного происхождения подразделяются на: 1) источники электромагнитного излучения крайне низкой и сверхнизкой частоты (0-3 кГц), к которым относятся распределения и передача электроэнергии, трансформаторные подстанции и электростанции, воздушные линии электропередач, электропроводки жилых и общественных зданий, кабельные системы заземления, электротранспорт, офисная и бытовая техника. Движение транспортных средств генерирует электромагнитные волны, которые мешают телевизионному и радиоприему и могут оказывать вредное воздействие на живые системы, включая человеческий организм; и 2) источники электромагнитного излучения радиочастотного и микроволнового диапазона (3 кГц - 300 ГГц): это коммерческие передатчики (радио, телевидение), устройства для систем сотовой связи, системы мобильной радиосвязи, спутниковая радиосвязь, навигация (воздушное сообщение, судоходство) (Федорович, 2004; Ковалёва, 2009 и др.).

Уже давно изучается влияние мощного постоянного и переменного электрического поля антропогенной природы на живые организмы. Источниками этих полей в первую очередь являются высоковольтные линии электропередачи (ЛЭП). Электрическое поле, создаваемое линиями высоковольтных ЛЭП, оказывает неблагоприятное влияние на живые организмы.

В работах (Исмаилов, 1987; Григорьев и др., 1999) показано, что с развитием технологий повышается естественный фон ЭМП. Имеются обзорные статьи (Goldsmith, 1996; Juutilainen, 1998), где рассмотрены негативное отрицательное воздействие на человека приборов, используемых в быту. Имело место нарушение функций некоторых органов человека при воздействии электромагнитным излучением (Andersen, 1997).

По мнению некоторых авторов (Григорьев и др.,

1999; Бучаченко и др., 2006), электромагнитное поле техногенного происхождения считается наиболее опасным фактором окружающей среды, который способствует существенному изменению биологических процессов.

1.2 Биологические эффекты и вероятные механизмы действия ЭМП на биоресурсный потенциал

Анализ проведенных многочисленных экспериментов отечественных и зарубежных исследователей, проводившихся на разных уровнях организации живого, свидетельствуют о высокой биологической активности электромагнитных полей от сверхнизких до сверхвысоких.

В.Е. Манойлов (1982) считает, что характерная особенность магнитного поля для живого организма заключается в том, что он сразу действует на весь организм, от тела и органа до клетки и ее отдельных молекул и атомов.

По данным Д.М. Шевеля (2002), в настоящее время недостаточно изучено влияние ЭМП различных источников на окружающую среду. Обычно изучают влияние ЭМП различного происхождения на определенные виды живых организмов. При этом следует ожидать, что биологические объекты, обладающие определенной устойчивостью к воздействию факторов окружающей среды, будут по-разному реагировать на магнитное поле.

Проведенные современные исследования (Агаджанян и др., 2005; Феофилактова, 2005; Усанов и др., 2008; Юранева, 2010; Федоров и др., 2012; Васильев и др., 2014; Гидова и др., 2016; Ихлов и др., 2017; Новицкая и др., 2017) показывают, что электромагнитные поля обладают высокой биологической активностью, но особую опасность представляют источники низкочастотного (0-3 кГц) и радиочастотного (3 кГц - 300 ГГц) электромагнитного поля. Какое именно влияние оказывает электромагнитное излучение на живые организмы еще полностью не изучено.

По мнению авторов Э.Ш. Исмаилова (1987) и В.В. Любимова (1997), на биологические объекты электромагнитные поля могут оказывать тепловое

воздействие, которое объясняется повышением температуры облучаемой ткани и возникновением нагрева; и нетепловое воздействие, когда наблюдается незначительное повышение температуры, но влияние электромагнитных волн проявляется уже на организменном уровне.

Однако нет единого мнения по поводу механизмов воздействия электромагнитных полей на биологические объекты, существует лишь разные гипотезы (Плеханов, 1984; Еськов, 1998; Сидоренко, 2001; Большаков и др., 2002; Гвоздарев, 2003; Бучаченко и др., 2006; Кудряшов и др., 2008).

К настоящему времени выдвинуто множество гипотез относительно механизмов действия магнитных полей на живые системы и вероятных эффектов, что подробно описано в работе Н.А. Агаджаняна и И.И. Макаровой (2005).

Появление модели поляризионно-неоднородного модифицированного физического вакуума (эфира) В.Л. Дятлова (1998), основанной на результатах полевых исследований естественных самосветящихся образований А.Н. Дмитриева (1998), позволяет расширить спектр возможных гипотез о механизмах биочувствительности к ЭМП, а именно гипотезы о наличии внутри организмов вакуумного домена (эфиродомена) (Дятлов, 1998).

В работе В.М. Сидоренко (2001) показано, что значительное увеличение внешних электрических полей возможно в биологических объектах с большими значениями диэлектрической проницаемости биологической ткани. Однако в этой работе не учитывается влияние проводимости, что также важно для биологических объектов.

По мнению А.Ю. Гвоздарева (2003) другая концепция развита в работах В.В. Новикова и др. (2002), где отмечено, что на воду и водно-солевые растворы комбинированные магнитные поля влияют с амплитудой близкой к естественному значению магнитного поля (десятки нТл), а результат воздействия может сохраниться на протяжении двух дней. Авторы (Новиков и др., 2002) предполагают, что рецептором переменного магнитного поля является вода.

Р. Р. Асланян и его коллеги (2008) считают, что биологическая система может быть представлена как совокупность большого количества резонансных

систем, образованных молекулами и молекулярными комплексами, которые могут изменять резонансные свойства в зависимости от различных структурных изменений, позволяя поддерживать целостность системы в окружающей среде. По мнению авторов, с этих позиций становится очевидным резонансный механизм воздействия факторов среды обитания на живые организмы на разных уровнях развития.

Е.Г. Васильева (2008b) отмечает, что действие электромагнитного поля на живой организм может зависеть от типа и характеристик электромагнитного поля и от свойств среды на которую оно действует. Как считает автор, основным механизмом воздействия электромагнитного поля на живые организмы является изменение свойств водных растворов организма. Воздействие ЭМП в первую очередь затрагивает плазматические мембраны клеток, а также внутриклеточную и межклеточную жидкость. ЭМП поглощаются водой и водными растворами, гидратация белковых молекул увеличивается.

Таким образом, изучение механизмов воздействия магнитных полей на биологические объекты является актуальной.

Большинство проведенных исследований (Becker, 1965; Brawn, 1969; Лазаревич, 1978; Quinn, 1982; Варенцова и др., 1985; Niehaus и др., 1997; Новиков и др., 2002; Усанов и др., 2004, 2008; Зайнуллин и др., 2006; Рзянина, 2010; Олейникова, 2011; Корнилова, Кириенко, 2012; Вайсман, Федоров, 2017 и др.) посвящены исследованию влияния магнитного поля определенных параметров на отдельные показатели жизнедеятельности различных биологических объектов.

Были проведены многочисленные исследования по изучению действия магнитных полей на микроорганизмы (Blakemore, 1979; Рыбникова, 1982; Ачкасова, 1984; Grets, 1989; Матрончик, Беляев, 1996; Kudo и др., 1993; Макаревич, 1999).

Например, Gretz M. (1989) отметил, что биогенез целлюлозы изменяется у бактерий и высших растений при воздействии на них электромагнитным полем.

А.Ю. Матрончик и И.Я. Беляев (1996) наблюдали изменение генома клеток *E. coli* после воздействия постоянным и низкочастотным магнитным полем.

Согласно полученным данным, изменения в геноме зависят от магнитной индукции 0-110 мкТл.

А.В. Макаревич (1999) изучил влияние постоянного магнитного поля на процессы развития микроорганизмов *Staphylococcus albus* и *Pseudomonas fluorescens* в жидких и твердых питательных средах. Наблюдалось стимулирование обмена веществ, рост микробной клетки.

Н.П. Летхлаан-Тыниссон с соавторами (2003) получили экспериментальные данные, указывающие о влиянии слабых и сверхслабых магнитных полей на биосистемы, на примере *E. coli*. Такое влияние приводило к значительному уменьшению колоний *E. coli* в физиологическом растворе. Причиной такой реакции, по мнению авторов, стала вода физраствора, которая изменила свои свойства после воздействия магнитного поля.

Д.А. Усанов и др. (2008) исследовали влияние низкочастотного переменного магнитного поля на рост биомассы одноклеточной водоросли *Scenedesmus*. Было установлено, что при использовании ПеМП продолжительность культивирования водорослей сокращается до 3 суток. По мнению авторов, этого достаточно для увеличения скорости роста одноклеточной водоросли *Scenedesmus* во много раз.

Также изучением влияния электромагнитного поля низкой частоты на скорость роста одноклеточной водоросли *Scenedesmus* занималась А.В. Рзянина (2010). Оказалось, что скорость роста водорослей по сравнению с контролем увеличивается до 2,5 раз при их длительном культивировании в ПеМП с индукцией 25 мТл и частотой 6 Гц. По результатам эксперимента такое воздействие на одноклеточные водоросли *Scenedesmus* стимулирует их рост.

Е.И. Авдеева и У.Г. Летута (2015) показали совместное действие магнитного изотопа магния и постоянного магнитного поля на размножение *E. coli*. Количество КОЕ бактерий, обогащенных изотопом магния, во внешнем магнитном поле 0-25 МП было намного выше в отличие от клеток, обогащенных немагнитным изотопом магния и природным магнием. В магнитном поле 76 МТл

количество КОЕ бактерий, обогащенных магнитным изотопом магния, оказалось максимальным.

Влияние электромагнитного поля разных частотных диапазонов на палочковидной бактерии исследовали А.В. Минакова с соавторами (2016). Было установлено, что действие электромагнитного поля в диапазоне от 3 кГц до 30 кГц не вызывает изменений в развитии микроорганизма. При увеличении частоты воздействия с 30 кГц до 100 кГц размножение палочковидных бактерий ускоряется и вызывает их агрессию. При использовании электромагнитного поля в диапазоне от 5 МГц до 25 МГц наблюдается изменение электромагнитной восприимчивости, т.е. изменяется концентрация биологически активных макромолекул, что влияет на скорость биофизических процессов.

Б.Л. Ихлов с соавторами (2017) изучали возможность использования сверхвысокочастотного электромагнитного поля для дезинфекции продуктов питания, воздуха в операционных и водоемов, не нанося вреда окружающим экосистемам. При этом изучали действие на патогенные организмы (*E. coli*) слабого сверхвысокочастотного электромагнитного поля. В результате исследования было обнаружено, что такое воздействие снижает жизнеспособность патогенных организмов (*E. coli*) во всех экспериментах на 22 %. Доказано, что именно на ДНК действует слабое нетепловое сверхвысокочастотное электромагнитное поле, препятствуя ее репликации и приводя к гибели клетки.

Имеются также данные по изучению влияния магнитного поля на начальные ростовые процессы у ряда культурных растений (D Arsonval, 1886; Tolomei, 1893; Кармилов, 1948; Audus, 1960; Dycus, Shultz, 1964; Novak, Valek, 1965; Muraji, Tatebe, 1992; Барышев, 2003; Радионов, 2009; Гидова и др., 2007, 2016).

Например, D Arsonval (1886) отмечал, что под действием постоянного магнитного поля происходит ускоренный рост кресс-салата, затем Tolomei G. (1893) выявил нарушение геотропизма корней фасоли при действии постоянного магнитного поля.

В.И. Кармилов (1948) при воздействии магнитным полем на луковицы, семена огурцов, томатов и картофеля наблюдал увеличение урожайности томатов и картофеля и улучшение ветвления стеблей опытных растений.

А.А. Позолотин (1971) при воздействии импульсным магнитным полем напряженностью $2 \cdot 10^5$ э. на проростки гороха наблюдал увеличение числа клеток с хромосомными повреждениями (на 30-40 %).

Влияние постоянного магнитного поля с индукцией 1 Тл на семена пшеницы исследовал В.А. Савельев (1983). Он отметил, что после воздействия магнитного поля на семена пшеницы их всхожесть увеличивается.

В последние десятилетия исследования в этом направлении активно продолжаются. Например, М.Г. Барышев (2003) выяснил, что энергия прорастания семян растений, продуктивность сельскохозяйственных культур, а также степень извлечения из них целевых компонентов могут увеличиваться, а также уменьшаться в результате воздействия магнитного поля низкой частоты. При этом автором построена математическая модель, показывающая связь растений и магнитного поля крайне низкой частоты.

На кафедре биологии, геоэкологии и молекулярно-генетических основ живых систем КБГУ в разное время вопросом влияния физических факторов занималась Э.М. Гидова (2007, 2016). В ее работах объектом исследования служили проростки различных культурных растений (пшеница, ячмень) и дикорастущая флора. Также на этой кафедре Т.Х. Хандоховым (2004) изучено влияние ПеМП разных частот на традесканцию и скерду. В его работах показано, что с увеличением частоты ПеМП повышается количество мутаций в тычиночных нитях традесканции, а на скерде наблюдается значительное увеличение хромосомных аберраций.

Т.В. Феофилактова (2005) исследовала изменение содержания растворимых сахаров и липидов редиса после облучения растения постоянным магнитным полем и установила, что слабое горизонтальное переменное магнитное поле изменяет биохимический состав корнеплодов редиса и листьев, выращенных на

этом поле по сравнению с ГМП. Отмечено подавление образование настоящих листьев прорастание семян редиса при применении ПеМП.

В работе А.А. Кривовой с соавторами (2008) показано влияние низкоинтенсивного электромагнитного поля СВЧ на морфофизиологические показатели ячменя. Установлено, что опосредованное действие низкоинтенсивного электромагнитного поля способно оказывать стимулирующее действие на растения на этапе начального роста семени. Интенсивный рост семени в течение первых 3-х суток позволяет быстрее пройти начальные фазы развития и приводит в итоге к формированию равномерного и более продуктивного травостоя, устойчивого к внешним воздействиям.

Изменение морфометрических показателей озимой пшеницы на первом этапе органогенеза при воздействии низкоинтенсивного импульсного лазерного излучения на семена в стадии покоя исследовано Г.В. Черновой с коллегами (2008). Наблюдалось увеличение длины побега по сравнению с контролем, при экспозиции 60 с происходит на 16 %, при экспозиции 90 с на 21 % и при экспозиции 120 с на 20 %. Однако в корневой системе наблюдалось снижение длины корней при всех экспозициях.

С.Ю. Синовец (2008) с коллегами оценивали воздействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения методом биотестирования в модельных экспериментах. При воздействии на луковицы частотами 8500 и 10500 МГц митотическая активность опытных образцов лука была на 14-44 % больше, чем в контрольных, а при частоте 9500 МГц наблюдалось достоверное снижение величины МИ на 12 %.

Влияние низкочастотного магнитного поля на деление растительных клеток изучала Ю.А. Беяченко (2009). Наблюдалось стимулирующее действие ПеМП с индукцией 25 мТл и частотой 1-12 Гц на митотическую активность апикальных стеблевых и корневых меристем у однодольных и двудольных растений. Также в этих же условиях увеличивается размер листовой пластинки и повышается урожайность.

Ю.А. Радионовым (2009) выявлено, что активность прорастания зародышей семян зависит от ориентации по отношению к вектору МП Земли. Зародыши, расположенные в сторону северного МП Земли, имеют самую высокую скорость прорастания семян.

З.Ю. Насурлаевой (2009) изучено действие искусственного электромагнитного поля на рассаду томата. Облучали в течении 10 мин в стадии 4-5 листочков микроволн 16 см, 18 см и 21 см диапазона с частотами 1665 МГц и 1667 МГц. После облучения сразу проводили посадку рассады на опытном участке. Оказалось, что микроволны диапазона 18 см и 21 см с частотами 1665 МГц и 1667 МГц значительно стимулируют рост и развитие растений томата. По сравнению с контролем растения выглядели мощнее, имели утолщенные стебли и более высокую продуктивную кустистость. Листья, стебель и плоды имели более интенсивный зеленый цвет. Растения, облученные микроволнами 18 см и 21 см диапазона, развивались значительно лучше по сравнению с контролем и диапазоном 16 см.

Полевые опыты, проведенные в лесостепной зоне Южного Урала А.А. Васильевым с сотрудниками (2014), по изучению влияния предпосадочной обработки семенных клубней электромагнитным излучением СВЧ диапазона на урожайность картофеля, показали, что в условиях опыта наблюдается заметное увеличение ассимиляционной поверхности листьев, в результате чего урожайность клубней картофеля существенно повышается по сравнению с контролем на 3,51-6,19 т/га.

Длительное действие слабых постоянного и переменного магнитных полей на онтогенез и метаболизм растений исследовали Г.В. Новицкая с сотрудниками (2017). Изучали длительное действие слабых постоянного (ПМП) и переменного (ПеМП) магнитных полей на онтогенез растений редиса сорта розово-красный с белым кончиком, а также на метаболизм лука (*Allium sepa* L.) сорта Арзамасский, периллы (*Perilla nankinensis Lourd Decne*) сорта красный и салата (*Lactuca sativa* L.) сорта Каменная головка. Напряженность ПМП составляла 400 А/м, а ПеМП с напряженностью 400 А/м и частотой 50 Гц. Действие постоянного и переменного

магнитного поля задерживало стадию развития используемых для опыта растений, по сравнению с контролем. Наблюдали торможение перехода к формированию цветоносов, появление очередных листьев, бутонизацию, а также цветение и плодоношение. ПМП уменьшало содержание полярных липидов, гликолипидов и фосфолипидов мембран хлоропластов, митохондрий и цитоплазматической фракции в листьях длиннодневного растения редиса его основных магнитоориентационных типов, в листьях короткодневного растения периллы содержание липидов хлоропластов, митохондрий и цитоплазматической мембран наоборот увеличивалось. ПМП изменяло содержание растворимых сахаров в листьях и корнеплодах редиса по сравнению с контролем (ГМП).

Таким образом, в результате многочисленных исследований в настоящее время показано, что электромагнитные поля оказывают значительное влияние на растения, а именно на биохимические, физиологические и морфологические характеристики растений.

Также были проведены множество экспериментов для изучения действия магнитных полей и на животных, в результате чего установлено, что магнитные поля оказывают существенное влияние не только на одноклеточные, но и на позвоночные и беспозвоночные животные (от рыб до млекопитающих) (Kirshvink, 1981; Gould, 1984; Weindler и др., 1996; Драй, 2009; Падалка, 2006; Савинов и др., 2011 и др.).

Например, И.В. Денисенковой (2000) показано, что скорость адаптации планарий к стрессору значительно меняется при условии компенсации геомагнитного поля, при попытке управления проводниковой функцией седалищного нерва лягушки, двигательной активностью и локомоторной адаптацией планарии тигровой низкоинтенсивными электромагнитными полями. А процесс восстановления проводниковой функции седалищного нерва лягушки после стимуляции электрическим током пессимальной частоты чувствителен к действию ЭМИ КВЧ низкой интенсивности (10 мкВт/см^2).

В работе Е.М. Чуприковой (2003) отмечено, что чувствительность мышечной ткани зависит от вектора напряженности геомагнитного поля и от уровня

доминирования животного в группе, и взаимосвязь уровня стрессированности и особенностей поведения мышей также зависит от принадлежности к соответствующей иерархической группе.

А.Д. Усанов (2004) проводил исследования по воздействию в течении 1 часа переменным магнитным полем 25 Тл с частотой 2-16 Гц на дафнию, в результате чего наблюдалось увеличение частоты сердечного ритма.

Действие низкоинтенсивных переменных магнитных полей на функциональную активность надпочечников было исследовано Оуян Сиюй (2005). Результаты исследования показали, что воздействие ПемП вызывало изменения в функциональном состоянии надпочечников у животных, характер и продолжительность которых зависели от величины плотности магнитного потока и времени воздействия.

Влияние малых доз солей тяжелого металла, а именно меди и электромагнитных воздействий на развитие лягушки *Xenopus laevis* изучала С.М. Падалка (2006). Из ее данных видно, что малые дозы факторов химической и физической природы неспецифично влияют на эмбриональное развитие амфибий.

Е.Г. Васильевой и И.В. Мельник (2008) исследовано влияние электромагнитного поля на личиночное развитие пресноводной креветки *Neocaridina Denticulata* и показано возможность использования высокочастотного ЭМП (27 ГГц) для оптимизации роста креветок, а также позволяющие повысить жизнеспособность личинок на протяжении всего периода развития. Плавное замедление скорости роста при этом способствует синхронизации роста личинок, что позволяет снизить внутривидовую конкуренцию. Также отмечено повышение процента вылупившихся личинок у самок, подвергнутых воздействию высокочастотного ЭМП.

Р.В. Драй (2009) исследовал структурные изменения эпителия слизистой оболочки крысы с использованием импульсного магнитного поля. Наблюдалось атрофирование слизистой оболочки кишечника при воздействии высокоинтенсивным импульсным магнитным полем 0,5 Тл, 1,5 Тл, 2,5 Гц и 50 Гц на органы брюшной полости крысы.

Также имеются материалы по изучению влияния магнитных полей на организм человека (Гичев, 1999; Агаджанян, Чащин и др., 2005; Павлов и др., 2006; Беседин, 2008).

Еще В.Г. Лазаревич (1978) указывал, что люди, длительное время находящиеся в зоне ЭМИ, жалуются на быструю утомляемость, раздражительность, нарушение сна, ослабление памяти, слабость. Также особо чувствительна к электромагнитному воздействию нервная система эмбриона на поздних стадиях внутриутробного развития.

По мнению В.В. Любимова (1997), результаты исследования показывают, что наиболее чувствительными системами по отношению к магнитным полям являются нервная, иммунная и эндокринная системы.

Также известно, что жизненно опасные аритмии прекращаются при воздействии очень мощным электрическим зарядом. При воздействии ЭМП высоких частот происходит снижение артериального давления (Любимов, 1997; Чащин, 2005).

Электромагнитные поля могут оказывать отрицательное влияние на иммунную систему организма, способствуя неспецифическому подавлению иммунитета (Павлов и др., 2006).

В то же время магнитное поле оказывает и положительную роль и применяется в лечебных целях. Примеров положительного воздействия магнитных полей на организм множество.

Об эффективности магнитотерапии было упомянуто еще в 1881 г. П.С. Григорьевым. В.В. Леднев (1996) отмечал, что "омагниченная" жидкость может снизить количество холестерина в крови, улучшить обмен веществ и нормализовать артериальное давление.

По мнению М.Г. Барышева и др. (2003), с помощью магнитных полей можно воздействовать на организм как обще, так и местно, направляя на пораженные участки ткани и суставы, так же на биологически активные точки, связанные со всем организмом. Благодаря методу ядерного магнитного резонанса

(ЯМР-томографии) можно получить изображения внутренних органов человека.

В настоящее время ЭМП широко применяются в медицине для диагностики и лечения различных заболеваний в неврологии, офтальмологии, урологии, гинекологии, различных областях хирургии и др. Наибольшее распространение получили методики МРТ (магнитно-резонансная томография, спектрография), магнитокардиография, магнитоэнцефалография, транскраниальная магнитная стимуляция. Для лечения различных заболеваний человека используются постоянные, переменные и импульсные магнитные поля.

Исходя из обзорной статьи А.В. Ковалевой (2009), в настоящее время актуальным считают использование физиотерапевтического воздействия на организм человека, а именно электротерапия, оказывающая положительное действие на организм человека. По мнению автора (Ковалева, 2009), «электротерапия может проводиться током низкого напряжения (лекарственный электрофорез, гальванизация) и импульсными токами низкой и средней частоты (электросон, СМТ-терапия, флюктуоризация, центральная электроанальгезия)».

О том, что магнитное излучение с одной стороны представляет опасность для существования живых систем, а с другой стороны - используется в лечебных целях, свидетельствуют документы по правовым основам. Н.В. Зайцева с коллегами (2013) отмечали, что «...контроль уровней ЭП осуществляется по значению напряженности ЭП - E , В/м, а контроль уровней МП осуществляется по значению напряженности МП - H , А/м или величине магнитной индукции - B , Тл. В зоне сформировавшейся волны контроль осуществляется по плотности потока энергии (ППЭ), Вт/м². Система санитарно-гигиенического регулирования ПДУ ЭМП для населения в России основана на принципе введения ограничений для конкретных случаев облучения» (Зайцева и др., 2013).

Как отмечал О.А. Григорьев и др. (2005), «разработка и введение в практику нормативно-правовых и экономических регуляторов электромагнитного загрязнения позволит создать коренной положительный поворот в ситуации,

предотвратить деградацию среды обитания и сокращение биоразнообразия видов, внесет важный вклад в обеспечении устойчивого развития страны».

1.3 *Drosophila melanogaster* как объект для изучения внешних воздействий ЭМП на биологические системы

Drosophila melanogaster на протяжении более чем века является одним из самых универсальных модельных объектов в исследованиях по различным областям биологии благодаря своим биологическим характеристикам, таким как короткий цикл развития, высокая фертильность, небольшое количество хромосом, удобство разведения в лабораторных условиях и изученность характера наследования многих признаков.

Согласно имеющимся литературным данным (Варенцова и др., 1985; Эндебера, 1996; Князева, 2001, 2007; Горбачева, 2005; Москалев, 2006; Чернова и др., 2002; Васильева и др., 2008; Магулаева, 2012; Федоров и др., 2012, и др.), можно сказать, что *Drosophila melanogaster* также служила модельным объектом для различных исследований, проводимых для изучения действия различных внешних факторов, включая радиацию и химические вещества. Ученым удалось отметить ее чувствительность к облучению разного рода и различным ядохимикатам.

Проведено большое количество исследований по выявлению негативного воздействия на живые организмы таких внешних факторов, как электромагнитные излучения, рентгеновские лучи, ультрафиолетовые, γ -лучи, канцерогенные соединения, тяжелые металлы, отходы горнодобывающих предприятий и других. Остановимся на некоторых работах.

Л.А. Лучкина и др. (1982) обрабатывали дрозофил на стадии личинки метилметансульфонатом (ММС) и наблюдали за чувствительностью объекта. В ходе эксперимента выяснилось, что исследуемая мутация определяет высокую чувствительность ранних и поздних личинок дрозофил к летальному действию и наблюдается снижение ферментативной активности в 4-5 раз.

Е.Р. Варенцова с коллегами (1985) изучали влияние γ -лучей на плодовитость и частоту летальных мутаций у линий дрозофилы *rad*. Оказалось, что γ -лучи выше 10 Гц повышают смертность дрозофил и действуют стерилизующе на мутантных самок.

И.Б. Моссэ с соавторами (1986) исследовали действие рентгеновского облучения на жизненный цикл и плодовитость дрозофил в 55 поколениях. При этом наблюдали снижение жизнеспособности и плодовитости дрозофил по сравнению с контрольным вариантом. Однако добавление меланина в питательную среду положительно влияет на эти показатели.

Генотоксическое влияние канцерогенных соединений на дрозофил изучали В.С. Шпигельман с соавторами (1991). Токсическое влияние проверялось по соотношению количества гетерозигот. По результатам исследования оказалось, что именно личинки гомозигот наиболее чувствительны к воздействию канцерогенных соединений.

О.П. Эндебера (1996) установлено, что значения основных компонент приспособленности дрозофил (плодовитости экспонированных особей, выживаемости и некоторых метрических характеристик их потомства) изменяется при применении низкоинтенсивного импульсного лазерного излучения ближней ИК области спектра ($\lambda=890$ нм) в дозах энергии 0,0012-0,2810 Дж/см².

С.В. Саранцевой (1999) проведен сравнительный анализ эффектов мутаций *rad201Gl*, *mei-41D5*, *rad202Gl* и *mei-9a* в эмбриогенезе дрозофилы при действии гамма- и УФ-лучей. Была выявлена связь между возрастными изменениями радиочувствительности эмбрионов и модификациями эмбриональных клеточных циклов. Также установлено, что наблюдаемые в мутантных радиочувствительных линиях изменения паттерна летальности эмбрионов различного возраста под действием гамма-и УФ –лучей определяются как действием мутантного гена, так и спецификой вида излучения.

И.Р. Князева (2001) исследовала влияние электромагнитного излучения и повышенной температуры на эмбрионы дрозофил. Было установлено, что ЭМИ прерывает развитие эмбрионов, а повышение температуры- развитие на стадии куколок. Однако низкоинтенсивные ЭМИ 0,6 Вт не оказывают влияния на 1,5-15 часовые эмбрионы, а только после действия с 15 ч эффект становится максимальным.

Г.В. Чернова и Н.В. Ворсобица (2002) исследовали продолжительность жизни дрозофил при действии на них низкоинтенсивного лазерного излучения. Было отмечено, что такое действие может изменить индивидуальное развитие особей и продолжительность жизни следующего поколения облученных особей. Адаптация организма к такому воздействию зависит от его генотипа.

Ю.В. Аницкая (2003) проводила эксперименты по влиянию ионов Ве (бериллия) на жизнь и развитие дрозофил. Проведенный эксперимент показал, что уже доза 1 пдк, которая принята как нетоксичная доза, резко снижает плодовитость дрозофил (14.38) по сравнению с контролем (46 на одну самку). Дальнейшее увеличение концентрации Ве приводит к тому, что при 7-8 пдк плодовитость самок становится ниже двух. Кроме того, расщепление в отношении пола было сдвинуто в пользу самок. Уже начиная с 4 пдк, количество самцов было вдвое меньше, чем самок. Оказалось, что бериллий не только снижает плодовитость дрозофилы, но и значительно удлиняет сроки их развития. Полный цикл развития дрозофил в контроле продолжался 8 дней. Уже при концентрации 1 пдк этот срок удлинялся на 2 дня, а при концентрации 7-8 пдк - на 20 дней.

Полученные данные показали, что личиночная стадия очень чувствительна к действию бериллия. Она удлиняется до 15 дней при действии 4 пдк (в контроле 2 дня). После 4 пдк наблюдалось небольшое уменьшение длительности этой стадии (5-6 пдк), а затем наблюдалось ее увеличение.

С.В. Азарова (2005) занималась исследованием состава отходов горнодобывающих предприятий и их опасности для окружающей среды с использованием мух дрозофил. Выявлена токсичность твердой фазы отходов исследуемых предприятий.

Е.С. Горбачевой (2005) изучено влияние низкоинтенсивного импульсного лазерного излучения ($\lambda = 890$ нм) и светового режима на организм *Drosophila melanogaster*. В то же время было обнаружено, что средняя продолжительность жизни дрозофилы изменяется при разных дозах НИЛИ. Отмечена также неоднозначная реакция дрозофил на световой режим, наблюдались как уменьшение, так и увеличение продолжительности жизни особей. Наблюдалось усиление действия облучения при световом режиме.

Е.С. Селезневой и В.В. Склюевым (2006) проанализирована способность *Drosophila melanogaster* приспособляться к мутагенности N-гидроксибензилбензотриазола и N-бензотриазолил бензол-сульфо кислоты в дозе LD-50, воздействуя этими же соединениями на имаго в дозе LD0. Установлено, что дрозофилы могут приспособляться к возможности N-гидроксибензилбензотриазола индуцировать летальные мутации и не способны приспособляться к мутагенности N- бензотриазолил бензол-сульфо кислоты.

В.Н. Пасюга с коллегами (2006) исследовали эффекты постоянного и вращающегося магнитного поля на жизнеспособность дрозофилы на стадии эмбриогенеза. Было отмечено, что на этой стадии, у используемых линий *K-c* и *Oregon*, жизнеспособность существенно снижается под действием постоянного и вращающегося магнитного поля. При этом количество летальных мутаций у потомства, подвергнутого облучению на стадии яйца, повышается.

Е.Г. Васильевой (2008а) было изучено действие высокочастотного (27 ГГц) и низкочастотного (5 Гц) ЭМП на четыре поколения дрозофилы. В результате

исследования выяснено, что при использовании высокочастотного ЭМП смертность личинок максимальна в первом поколении, а во втором поколении резко снижается и стабилизируется только в следующем поколении. Низкочастотное ЭМП также оказывает существенное влияние на смертность особей, показатели еще ниже. Здесь изменение носит волновой характер.

Опубликовано серия работ М.В. Шапошниковым с соавторами (1999-2008) по хроническим γ -облучениям в малых дозах линий *Drosophila melanogaster*. В одной из них показано, что при хроническом γ -облучении существенно изменяется генетическая структура популяции и увеличивается уровень индукции дисгенной стерильности. Полученные данные показывают связь генетической нестабильности и процессов адаптации к действию хронического γ -облучения с механизмами радиационно-индуцированной активации мобильных генетических элементов.

В.Г. Зайнуллин (2006) с сотрудниками (Шапошников М. В., Москалев А. А., Пунегов В. В.) изучали влияние гормона 20-гидроксиэкдизона метаверона и экдизона на длительность жизни линий дрозофилы в предимагинальной стадии развития. Обнаружено, что у линии *woc* продолжительность жизни самцов выше, чем у линии *Canton-S* на 46 % без экдизона, а при обработке дистероидсодержащими препаратами у *Canton-S* не замечаются изменения в продолжительности жизни.

Влияние хронического облучения малыми дозами ионизирующей радиации на *Drosophila melanogaster* исследовано А.А. Москалевым (2006). Отмечено, что продолжительность жизни лабораторных линий дикого типа *Canton-S*, *GB-39*, *Oregon-R* и мутантного типа *mei-41* и *ruprica* после воздействия малыми дозами γ -облучения изменяется и зависит от эпигенотипа у диких линий и от генотипа у линий, несущих мутации. Также выявлена взаимосвязь между продолжительностью жизни и индукцией апоптоза.

В.В. Бабкина и Г.В. Чернова (2008) изучали также влияние светодиодного излучения на жизнеспособность, массу тела и соотношение самцов и самок *Drosophila melanogaster*. По полученным результатам были сделаны выводы:

облучение светодиодными лампами с красной областью спектра на ранних этапах эмбриогенеза дрозофил линии *Vg* может способствовать увеличению выживаемости на стадии яйцо-куколка; влияние на стадии куколка-взрослая особь может носить противоположный характер. Также влияние данного фактора на ранних этапах эмбриогенеза может приводить к увеличению массы взрослых самцов и самок дрозофил генотипа *Vg*.

И.Н. Юраниева (2010) исследовала уровень генотипической изменчивости *Drosophila melanogaster* в течении десяти поколений при воздействии хроническим облучением малыми дозами ионизирующей радиации. При этом отмечено достоверное ($p < 0,05$) увеличение частоты доминантных летальных мутаций, уровня эмбриональной смертности и снижение уровня жизнеспособности.

А.П. Кравец с сотрудниками (2010) исследовали частоту гибридного дисгенеза у потомков линий *Canton-S* и *radius incompletus* *Drosophila melanogaster*, которые были подвержены хроническому облучению мощностью $1,2 \cdot 10^8$, $0,3 \cdot 10^8$ и $0,12 \cdot 10^8$ в течении 20 поколений. При этом изменялась частота гибридного дисгенеза у потомков каждого из 20 поколений облученных родителей в зависимости от применяемой дозы. Переходный процесс проявления гонадального дисгенеза усложнялся в зависимости от мощности дозы и продолжительности облучения поколений линий *Canton-S* и *radius incompletus*. Также наблюдался кумулятивный эффект облучения в виде адаптации при использовании малой дозы облучения и истощения для наибольшей дозы.

Т.Ю. Кузнецова с коллегами (2009) изучали влияние пестицидов на онтогенетическую изменчивость. Использовались такие пестициды, как Карбофос и Пума Супер-100. В ходе эксперимента наблюдалось изменение в развитии дрозофил. Используемые пестициды значительно снижали выживаемость дрозофил, а также у дрозофилы наблюдали изменение длины крыльев и торакса. Используемые пестициды также повлияли и на соотношение полов, количество самок преобладало над количеством самцов.

Негативное влияние инсектицида «Децис» и гербицида «Магнум» на цитогенетическую и морфологическую изменчивость дрозофилы было показано в

работах Т.Ю. Кузнецовой, А.В. Голосовой, И.В. Пак (2010). В поставленном эксперименте при использовании этих пестицидов в определенном количестве наблюдалось нарушение в развитии дрозофилы и увеличение частоты пуфообразования в хромосомах дрозофил.

Т.Ю. Олейниковой и И.В. Мельник (2011) исследовано влияние электромагнитного излучения (низкочастотное ЭМП на 5 Гц и высокочастотное на 27 ГГц) на жизненный цикл и плодовитость дрозофил. Результаты исследований свидетельствуют о нарушении эмбрионального развития у дрозофил под воздействием электромагнитного поля. Наблюдалось увеличение числа морфозов (недоразвитие крыльев), уменьшение количества вылупившихся мух и увеличение смертности. Было обнаружено, что фертильность выше при использовании частоты электромагнитного излучения 27 ГГц, чем при использовании низкой частоты.

В 2005-2011 гг. А.А. Магулаева изучала влияние тяжелых металлов в различных дозировках и комбинациях на индивидуальное развитие дрозофил. Было обнаружено, что продолжительность цикла увеличивается в присутствии этих солей в питательной среде и зависит от выбранных комбинаций и доз. Кроме того, этот эффект снижал плодовитость дрозофил, вызывал морфологические изменения и оказывал влияние на соотношение полов.

А.Б. Савинов с соавторами (2011) исследовали развитие популяций *Drosophila melanogaster* в естественных условиях при питании кормом, подверженному возрастающему загрязнению ароматическими углеводородами: бензолом, толуолом и ксилолом. Авторами отмечено увеличение количества мух и их морфологических признаков при использовании в низких концентрациях (0,2, 0,4, 0,8%) загрязнителей, а при увеличении концентрации до 1,6 % подавлялось развитие микропопуляций.

Л.В. Чопикашвили с сотрудниками (2010) занимались изучением генетической активности циклофосфана на фоне воздействия Zn, Cd и ее коррекция ДС в тест системе *Drosophila melanogaster*. Как оказалось, циклофосфан оказывает более выраженный мутагенный эффект, чем соли цинка и

кадмия. ДЛМ при воздействии $Zn \cdot 10^{-5}\mu$ составляют 1,7 %, для $Cd \cdot 10^{-7}\mu$ – 2,1 %. При комбинированном воздействии двух мутагенов процент ДЛМ под влиянием соли цинка увеличивается до 3,3 %, соли кадмия – 5,6 %. Комплексное воздействие двух мутагенов и ФК/ДС показало, что последний обладает мощным антимуtagenным эффектом, выражающимся в увеличении коэффициента защиты в 14,9 раза по сравнению с бикомплексом (соль цинка + циклофосфан) и в 17,7 раза – (солью кадмия + циклофосфан). Также авторами установлено, что циклофосфан оказывает влияние на сперматогенез дрозофилы, уменьшая коэффициент плодовитости до 0,61, а при комбинированном воздействии с мутагенами – до 0,53 ($Zn \cdot 10^{-5}\mu$), 0,44 ($Cd \cdot 10^{-7}\mu$). ФК/ДС удается смягчить цитостатический эффект препарата, увеличивая количество потомства. Физиологическая активность личинок под воздействием данного адаптогена увеличивалась с 13,8 % (циклофосфан) до 32,9 %, (циклофосфан + ФК/ДС) в 2,4 раза, а в случае с $Zn \cdot 10^{-5}\mu$ – с 20,6 до 53,1 %; с $Cd \cdot 10^{-7}\mu$ – с 22,7 до 52,1 %. Наблюдалась также коррекция соотношения полов при пред- и постобработке ФК/ДС с 0,8 (циклофосфан) до 0,9; в большинстве вариантов эксперимента уменьшалось количество неразвившихся в имаго куколок.

Также Л.В. Чопикашвили с коллегами (2011) исследовали модифицирующий эффект биологически активных веществ топинамбура (*Helianthus tuberosus*) на фоне воздействия кадмия (Cd) – тяжелого металла, обладающего мутагенным эффектом на тест-систему *Drosophila melanogaster*. Анализ результатов исследования показал, что кадмий пагубно влияет на сперматогенез дрозофилы. При этом повышается доминантно летальные мутации, а при использовании экстракта топинамбура, доминантно летальные мутации наоборот снижаются в 4 раза.

В 2012 г. А.А. Корниловой и Н.В. Кириенко было выявлено действие химических и физических мутагенов на показатели жизнедеятельности дрозофил. Мутагены приводят к снижению продолжительности жизни дрозофил и к появлению различных мутаций. Влиянию различных мутагенов преимущественно подвержены самки.

В 2012 г. В.И. Федоров с соавторами изучали влияние терагерцового излучения на стрессированных самок дрозофил. По мнению авторов, такое влияние оказывает воздействие на эндокринную и нервную системы, что потом сказывается на оогенезе и плодовитости. В этом опыте незначительный стресс не повлиял на количество самок. В потомстве F1 облученных мух, самцов оказалось в 3 раза больше, чем вылетевших самок.

В.В. Бабкина с соавторами (2013) исследовали воздействие КВЧ-излучения в дозе $1,82 \cdot 10^{-3}$ Дж/см² на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster*. Оказалось, что для *Drosophila melanogaster* наиболее благоприятным является условия темноты, чем постоянное освещение.

Также в 2016 г. этими же авторами была проведена сравнительная экологическая оценка влияния КВЧ-излучения на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster* и некоторые морфометрические показатели *T. aestivum*. В условиях постоянной темноты воздействие КВЧ в дозе $0,30 \cdot 10^{-3}$ Дж/см² негативно сказывается на *Drosophila melanogaster* обоих полов. Увеличение дозы с $0,30 \cdot 10^{-3}$ Дж/см² до $1,82 \cdot 10^{-3}$ Дж/см² в тех же условиях влияет на соотношение полов, количество самок преобладает над количеством самцов. Воздействие КВЧ в той же дозе, но при постоянном освещении приводило к снижению количества особей обоего пола. Предпосевная обработка семян *T. aestivum* ЭМИ КВЧ оказала неоднозначное влияние на длину и ширину листовой пластинки во время фазы кущения и появления трубок. Эффекты КВЧ-излучения зависели от дозы облучения и генотипа особей. Для животного объекта условия темноты более благоприятна, чем постоянное освещение. У растительного объекта наиболее выраженные эффекты КВЧ-излучения наблюдались при формировании листовой пластинки, что может указывать на характерные генетико-физиологические механизмы на разных этапах индивидуального развития.

Н.Я. Вайсман с сотрудниками (2015) доказали, что терагерцовое излучение улучшает признаки приспособленности у дрозофил линии *Oregon R*. Результаты исследования показывают, что после облучения продолжительность жизни и выживаемость снижается в ранние периоды жизни, и увеличиваются в поздние

периоды. В основном это наблюдалось у самок, а самцы оказались устойчивыми к облучению.

Е.А. Никитина с коллегами (2017) исследовали влияние слабого магнитного поля Земли на транскрипционную активность генома и формированию среднесрочной памяти у *Drosophila melanogaster*. У линии дикого типа *Canton-S* наблюдалось нарушение среднесрочной памяти при воздействии на них слабым магнитным полем. А у мутанта gn^{ts3} данное стрессорное воздействие приводит к формированию памяти.

В результате анализа литературных данных по биотестированию, с использованием *Drosophila melanogaster*, можно заключить, что *Drosophila melanogaster* в настоящее время является наиболее эффективным тест-объектом в экспериментальных исследованиях для установления риска воздействия на живые организмы факторов внешней среды.

1.4 Повышение биоресурсного потенциала *Solanum tuberosum* с применением различных технологий

В нашей стране *Solanum tuberosum* считают одной из важнейших сельскохозяйственных культур, максимальная урожайность которого составляет 40—80 т/га.

Урожайность картофеля зависит от различных факторов. От погодных и климатических условий, от качества почвы, от выбранного сорта и здоровья клубней картофеля, от своевременной профилактики болезней картофеля, от своевременного внесения удобрений в почву и т. д.

Но в основном продуктивность картофеля зависит от двух основных факторов - использование качественного семенного материала и правильном уходе за клубнями и растениями до и после высадки, что включает и борьбу с возбудителями многочисленных его заболеваний.

Повышение биоресурсного потенциала картофеля возможно не только использованием качественных семян, но и применением различных технологий, способные оказать стимулирующее действие на развитие растений и их рост, а также увеличить адаптационный потенциал к абиотическим и биотическим стрессам. К таким технологиям можно отнести биологические и химические препараты, способные влиять положительно на развитие растений и их урожайность, а также различные физические способы, применяемые перед посадкой клубней картофеля.

В научно-исследовательских институтах нашей страны проводятся многочисленные эксперименты по повышению продуктивного потенциала картофеля с применением таких технологий.

Так, например, В.А. Авакян с соавторами (1965) в своем обзоре отмечают сообщение А.И. Гречушникова и В.С. Серебренникова (1963) о том, что облучение клубней гамма-лучами в дозах 100-300 г значительно стимулирует рост растений картофеля. Урожай клубней картофеля от этих растений увеличивается на 20-56 ц/га. В этой работе также отмечено сообщение Д.В. Липсиц, что урожай растений, выросший из облученных рентгеновскими лучами клубней дозами 400-800 г, превышал на 25-38,5 % урожай контрольных растений.

Сами авторы, В.А. Авакян, Л.А. Гукасян и И.Ш. Сисакян (1965), при изучении действия рентгенооблучения на продуктивность растений картофеля указывают, что в вариантах, где посадочные клубни облучались до яровизации в дозах 100 и 500 г, растения отличались более мощной вегетативной массой по сравнению с растениями из необлученных клубней. При облучении в дозе 1000 г высота стеблей, а при облучении в дозе 2000 г количество стеблей на куст выше, чем у контроля. Яровизация клубней после их облучения небольшими дозами (100-500 г) приводит к повышению урожайности, а дальнейшее увеличение доз облучения снижает урожай картофеля. Высокий урожай отмечен при облучении клубней до их яровизации дозой 300-500 г, которую можно считать стимулирующей.

В проведенных опытах О.Г. Корневой (2009) по воздействию биологически

активных веществ и регуляторов роста на урожайность картофеля в условиях Нижнего Поволжья отмечено, что регуляторы роста растений стимулировали скорость появления всходов картофеля. Полевая всхожесть повышалась до 12 %. Также средняя высота растений увеличилась на 7-11 %, количество стеблей – на 20-39 % и масса клубней – на 22-53 %. Биопрепараты способствовали повышению урожайности картофеля на 16-25 %.

А.И. Черемсин и И.А. Якимова (2011) изучали влияние биологических препаратов (эпинэкстра, байкал гуми, мивал-агро, фитоспорин М, циркон) на продуктивность микрорастений картофеля сортов «Алена» и «Хозяюшка». При обработке растений картофеля препаратами мивал-агро, циркон и байкал наибольшее количество клубней наблюдалось у сорта «Алена», а при использовании препаратов гуми, мивал-агро и фитоспорина высокий прирост числа клубней по отношению к контролю зафиксирован у сорта «Хозяюшка».

О.А. Ковалевой (2014) изучено действие искусственного ультрафиолетового облучения на фотосинтетическую активность и продуктивность картофеля. Наблюдалась стимуляция ростовых процессов при УФ облучении, увеличивалось содержание хлорофилла *a* и *b*, а также число и вес листьев. У облученных УФ растений урожайность на 20–25 % была больше, чем в контроле. Содержание сухого вещества в клубнях, полученных из облученных УФ - регенерантов, по сравнению с контролем оказалось выше на 11 %.

Влияние ультрафиолетового облучения на морфообразовательные процессы в меристемных растениях картофеля изучали Т.Г. Янчевская и О.А. Ковалева (2015). Установлено, что УФ-облучение В-диапазона стимулирует образование листьев и междоузлий, ускоряет ризогенез регенераторов картофеля на ранних этапах онтогенеза, что способствует более раннему ускорению и развитию облученных растений по сравнению с контрольными, а также стимулирует реализацию продукционного потенциала растения в результате повышения клубневого коэффициента размножения.

Б.М. Князев, А.Б. Князев и А.А. Казиева (2016) изучали влияние регуляторов роста на формирование клубней картофеля

различных сортов в условиях горной зоны Кабардино-Балкарии. Проведенные исследования показали положительное действие регуляторов роста на картофель. Наблюдалось повышение полевой всхожести, энергии прорастания, активизировались ростовые процессы в период вегетации растений. Фотосинтетическая деятельность растений картофеля в опытных вариантах (регуляторы роста) характеризовалась лучшими показателями, чем в контрольном варианте. Масса клубней одного куста составила 340-376 г, а в контрольном – 264-286 г. Урожайность также оказалась выше в опытных вариантах, она составила 20-22 т/га, а в контрольном – 13-15 т. Ю.Ц.

Мартиросян с сотрудниками (2016) исследовали влияние светодиодных источников света, различающихся по спектральному составу излучения, на ростовые процессы растений картофеля в культуре *in vitro* и функциональные параметры фотосинтетического аппарата. Наибольшее накопление биомассы наблюдали при облучении растений люминесцентными лампами, что связано с более высокой активностью фотосинтетического аппарата. При облучении растений люминесцентным светом и СД белого света отмечена большая эффективность реакции и максимальная скорость карбоксилирования. Однако активность световых реакций фотосинтеза существенно не менялась в условиях низкой интенсивности света независимо от типа облучателя и его спектрального состава, а наблюдаемые различия в накоплении сухого вещества растениями были обусловлены активностью реакций темновой фазы фотосинтеза.

Эффективность предпосадочной обработки клубней картофеля регуляторами роста изучали А.В. Николаев с коллегами (2016). При предпосадочной обработке клубней препаратами Зеромикс, Артафит, Циркон и Прорастин наблюдается достоверное увеличение количества стеблей на куст на сорте картофеля Удача, а при применении препаратов Мивал-Агро, Альбит, Эпин-Экстра, Зеромикс, Циркон - на сорте Скарб. У этого сорта также отмечено повышение длины стебля при применении препарата Зеромикс.

Повышение ресурсного потенциала картофеля при обработке семенного материала ИНЭП исследовала Н.В. Стацюк (2016).

Установлено, что воздействие ИНЭП продолжительностью 2 ч на семена картофеля перед их посадкой увеличивает энергию прорастания на 16,2 %, лабораторную всхожесть на 16,7 % и всхожесть при высеве в почву на 20,9 %. Также отмечено положительное влияние на количества стеблей, количества клубней и их общий вес с одного куста.

Исследованиями действия современных регуляторов роста растений на урожай, качество и сохранность картофеля занимались А.В. Бутов с сотрудниками (2017). Установлена достоверная прибавка от применения регулятора роста растений - Циркон и Экогель. Наблюдается увеличение урожайности картофеля на 27,1-31,9 % и 20,1-23,0 % повышение крахмалистости клубней и существенно снижается общие потери при хранении.

С. В. Мальцев с соавторами (2018) применили физико-химические методы воздействия на клубни картофеля при хранении, и установили, что гамма-облучение наиболее оправдано в дозах 50-75 Гр. А использование этилена является многообещающей альтернативой химическим препаратам на основе активного ингредиента хлорпрофама.

Н.Н. Лой с сотрудниками (2018) показали, что при облучении в дозах 50, 100 и 150 Гр клубней картофеля сорта ВР-808 и сорта Гермес перед закладкой на хранение не ухудшаются в качестве по основным показателям. Однако облучение снижает потерю массы клубней во всех изученных дозах при хранении картофеля при температуре + 4-6. Следовательно, применение радиационных технологий при хранении картофеля является эффективным технологическим приемом.

П.Н. Цыгвинцев (2018) в своем опыте применял радиационное облучение клубней картофеля при хранении в различных условиях и наблюдал за изменениями физиологических процессов в клубнях картофеля. Прорастание картофеля останавливалось при облучении картофеля в дозах 120–360 Гр. Радиационного облучения дозой выше 120 Гр снизило потерю массы и сухого вещества клубней за счет процессов дыхания и транспирации при хранении в 1,5–2,0 раза по сравнению с необлученным картофелем.

Т.В. Чиж с сотрудниками (2018) изучено влияние гамма-излучения в диапазоне доз 50-150 Гр на срок хранения и показатели качества картофеля. Установлено, что доза излучения и условия хранения влияет на продолжительность хранения картофеля. Показано, что среди изученного диапазона облучение картофеля гамма-излучением в дозе 100 Гр способствует наилучшему его сохранению.

В результате анализа литературных данных по повышению ресурсного потенциала картофеля, нам представляется перспективным изучение влияния ПемП разных частот на биоресурсный потенциал картофеля.

1.5 Заключение

Проведенный анализ научной литературы, по влиянию электромагнитных полей разной интенсивности на живые организмы, показал, что электромагнитное поле, как экологический фактор, имеет огромное значение и его действие вызывает у живых организмов определенные реакции. Выяснилось, что магнитное поле представляет с одной стороны опасность для существования живых систем, а с другой стороны может оказать положительное влияние на организм биосистем и использоваться в лечебных целях, а также и в сельском хозяйстве.

Выявлено влияние магнитных полей разных типов на размножение, обмен веществ, ферментативную активность и другие аспекты жизнедеятельности микроорганизмов. Как сильные, так и слабые электромагнитные поля оказывают выраженное влияние на физиологические, биофизические, биохимические и морфологические характеристики многих растений. Также установлено, что магнитные поля оказывают заметное влияние не только на одноклеточные, но и на высокоорганизованные организмы, включая человека.

Drosophila melanogaster в качестве тест-системы для установления влияния электромагнитного поля исследователи практически не использовали. Следует подчеркнуть, что отсутствуют данные о влиянии именно переменного магнитного поля разных частот на морфофизиологические характеристики отмеченной тест-системы, и самое главное, на генотипическую чувствительность.

Также мы не нашли данных по влиянию именно переменного магнитного поля разных частот на биоресурсный потенциал картофеля.

Таким образом, на основе проведенного анализа литературы, целью настоящей работы является изучение влияния ПемП разных частот на морфофизиологические и эколого-биологические параметры с использованием тест-систем животного (*Drosophila melanogaster*) и растительного (*Solanum tuberosum*) происхождения.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная часть работы выполнена на кафедре биологии, геоэкологии и молекулярно-генетических основ живых систем КБГУ с 2009-2019гг. Объектом исследования служили линии мух *Drosophila melanogaster*, содержащиеся на кафедре биологии, геоэкологии и молекулярно-генетических основ живых систем Кабардино-Балкарского государственного университета для постановки различных экспериментов; а также использовали растительный объект – *Solanum tuberosum*, раннеспелый сорт «Удача» и среднеспелый сорт

«Нарт-1». Полевые опыты проводили в Баксанском районе Кабардино-Балкарской республики.

Дрозофила широко используется в качестве тест-системы не только для изучения специальных вопросов биоэкологии и генетики, но и для выявления влияния различных мутагенных факторов на биологические ресурсы.

В книге Н.Н. Медведева (1968) «Практическая генетика» отмечено, что «преимущества дрозофилы перед другими объектами заключается в коротком цикле развития (10 суток от момента откладки яиц до появления взрослой особи), высокой плодовитости (50-200 потомков от одной пары мух), большом количестве изученных генов, определяющих легко различимые признаки, небольшом количестве хромосом ($2n=8$), наличием гигантских хромосом в клетках слюнных желез у личинок, используемых в исследованиях многообразием природных популяций и мутантов, удобстве и дешевизне разведения».

Характеристика использованных мутантов Drosophila melanogaster:

1. Var, V, I, 57,0. Полосковидные глаза. Гомозиготы жизнеспособны.
Дубликация;
2. Canton S, K-c. Дикий тип, серое тело, красные глаза, крылья нормальной длины;
3. meller-5, m-5, I, 1,5-57,0. Полосковидные абрикосовые глаза;
4. vestigial, vg, II, 67,0. Зачаточнокрылый. Крылья и жужжальца зачаточные;
5. white, w, I, 1.5. Белоглазый. Глаза белые, мальпигиевы сосуды и семенники бесцветны;
6. yellow, y, I, 0,0. Желтый цвет тела; ротовой аппарат личинки коричневый;
7. ebony, e, III, 70.7. Черный цвет тела;
8. white apricot, w^a, I, 1.5. Абрикосовые глаза. Аллеломорф белый;
9. cinnabar, cn, II, 57,5. Киноварноглазый. Цвет глаз яркий.

Источником переменных магнитных полей (ПеМП) для постановки и проведения наших экспериментов, служила катушка индуктивности,

представляющая собой полый цилиндр диаметром 75 мм и высотой 520 мм. Обмотка на катушке состояла из двух слоев по 85 витков. Сечение провода 1,3 мм. Для генерации переменных полей различных частот и напряженностей использовался ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь). Сигнал на выходе компьютера усиливался усилителем и подавался на катушку (рисунок 1). Частоту и форму тока измеряли с помощью полупроводникового двухлучевого осциллографа С1-69.

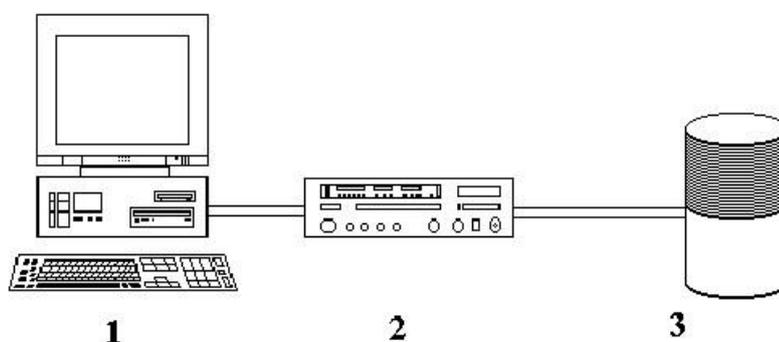


Рисунок 1- Установка для выработки ПемП с необходимой частотой

1–компьютер; 2–усилитель; 3–катушка индуктивности.

В опытных вариантах с *Drosophila melanogaster* применялось переменное магнитное поле частотой 8000 Гц, 15000 Гц и 20000 Гц, напряженностью 8,5 мА/м и временем облучения 40 ч, облучению подвергали линии *Drosophila melanogaster*. Предметом исследования было влияние переменного магнитного поля разных частот на индивидуальное развитие *Drosophila melanogaster*. Общая продолжительность воздействия магнитного поля составила 40 часов. Контролем служили линии дрозофил, соответствующие экспериментальным, не подвергавшиеся воздействию. Эксперименты ставили несколько раз. В работе

обсуждены средние данные по 5-ти пробиркам, а количество морфологических изменений рассчитано на 1000 мух.

Использовали методику работы с дрозофилой, предложенной в книге Н.Н. Медведева «Практическая генетика» (1968). Мух помещали в подготовленные стерилизованные пробирки с питательной средой для проведения опыта, также оставляли контрольный вариант. Каждый вариант эксперимента после 40 ч облучения ПеМП закладывали в 5-кратной повторности, в каждую пробирку по 2 самки и 3 самца. Оптимальная температура (24-26° С) для успешного размножения мух поддерживалась в специальном термостате, относительная влажность 70-80 %, хорошая аэрация. Анализ и подсчет мух проводили на матово- белом стекле под лупой и бинокулярным микроскопом после наркотизации серным эфиром. Ежедневно отслеживали жизненный цикл дрозофил и подсчитывали всех появившихся личинок, куколок и вылетевших мух, а также количество самок и самцов. При этом наблюдали за морфологическими изменениями и фотографировали все наблюдаемые аномалии. Всего в ходе эксперимента было детально изучено 39810 особей.

Обработку экспериментальных данных проводили с использованием методов статистики: критическое значение χ^2 (критерий Пирсона); критическое значение t - критерий Стьюдента; двухфакторный дисперсионный анализ (Лакин, 1980). Фотографии сделаны при многократном увеличении с микроскопа МБС-1 цифровой камерой OLYMPUS VG-160. Графическая часть выполнена с использованием программы Microsoft Word 2010.

В качестве объекта исследования влияния ПеМП разных частот на биоресурсный потенциал картофеля использовали раннеспелый сорт картофеля «Удача» и среднеспелый сорт картофеля «Нарт-1». Клубни отбирались согласно ГОСТ 7001-66 по массе от 45 до 100 г. Эти сорта являются высокоурожайными, неприхотливыми и приспособлены к разным климатическим условиям и грунту.

Характеристика сорта картофеля «Удача»

Картофель сорта «Удача» появился в 1994 году в ГНУ ВНИИКХ им. А. Г. Лорха. Клубни этого сорта имеют округлую или овальную форму, с небольшим

количеством глазков. Окраска кожуры: желтоватая или коричневая. Кожица – тонкая и гладкая. Куст среднего размера с густыми темно-зелеными листьями. Цветки белые, чашелистики изогнутые. Сорт обильно цветет. Мякоть клубней белая, при варке желтеет. Вес клубней достигает 90-130 г. Vegetационный период – 65-80 дней. За счет интенсивного налива клубней продукцию товарного качества получают уже после 45-го дня.

Характеристика: высокоурожайный, раннеспелый, засухоустойчивый, лёжкий, устойчив к полеганию, с прекрасными вкусовыми качествами.

Кроме того, его отличают: крахмалистость – 12 – 14 %; количество клубней с 1 культуры – 10-15; урожайность с 1 куста – 1,7 кг; урожайность с 1 га – 1,5 т; товарность – 88-97 %.

Достоинства: невосприимчивость к низким температурам. Прорастание клубней начинается при температуре +10. Быстрое завязывание клубней. Через 45 дней ранний картофель копают для приготовления пищи. Имеет приятный вкус. Созревание в короткие сроки. Невосприимчивость ко многим болезням. Не поражается вирусными заболеваниями. Устойчив к механическим повреждениям. Особенно при сборе и транспортировке. Высокоурожайность. Лёжкость.

Рекомендуемые для посадки регионы: Северо-Западный, Центральный, Волго-Вятский, ЦЧО, Северо-Кавказский, Средневолжский, Уральский, Дальневосточный.

Характеристика сорта картофеля «Нарт-1»

Оригинатор сорта картофеля «Нарт-1» — ФГБНУ «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук». Сорт картофеля среднеспелый, столового назначения. Вкус хороший и отличный. Растение высокое, прямостоячее. Лист крупный, светло-зеленый. Отсутствует или очень незначительная волнистость по краю. Венчик крупный, красновато-фиолетовый. Клубень овальной формы с очень маленькими глазками. Кожа гладкая, красная. Мякоть белая. Масса товарного клубня 68-113 г, содержание крахмала 14,2-17,0 %. Количество клубней в кусте: 7-11 шт. Период созревания (вегетации): 80-95 дней. Достоинства: сорт восприимчив к золотистой картофельной

цистообразующей нематоды и к возбудителю фитофтороза по ботве, устойчив к возбудителю рака картофеля, к полосчатой мозаике и скручиванию листьев, а также среднеустойчив к морщинистой мозаике. Засухоустойчив.

Товарная урожайность сорта картофеля «Нарт-1» — 125-174 ц/га, на уровне стандартов Голубизна. Максимальная урожайность 227 ц/га, на 87 ц/га выше стандарта Розовый из Милет (Краснодарский край). Товарность 81-98 %.

Ценность сорта: высокий выход товарных клубней, стабильная урожайность, высокие вкусовые качества.

Включен в Госреестр по Северо-Кавказскому региону.

Для предпосевной обработки клубней картофеля источником переменных магнитных полей (ПеМП) служила катушка индуктивности, представляющая собой полый цилиндр диаметром 250 мм и высотой 900 мм. Обмотка на катушке была из 4-х слоев, каждый слой состоял из 100 витков. Сечение провода было 5,2 мм. Для генерации переменных полей различных частот и напряженностей использовался ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь). Сигнал на выходе компьютера усиливался усилителем и подавался на катушку. Частоту и форму тока измеряли с помощью полупроводникового двухлучевого осциллографа С1-69.

В опытных вариантах было использовано магнитное поле частотой 8000 Гц, 15000 Гц, 20000 Гц и временем облучения 24 ч, предпосевное облучение клубней картофеля проводили за 3 дня до посадки в почву. Контролем служили клубни, соответствующие экспериментальным, не подвергавшиеся воздействию. После обработки клубней ПеМП разных частот, все материалы, а также и контрольный вариант содержали в одинаковых условиях. Эксперименты проводили в 3-х кратной повторности. Учетная площадь опытных делянок – 76,8 м². Расстояние между лунками 60 см. Выращивание картофеля осуществляли в соответствии с агротехническими требованиями. Пользовались методикой полевого опыта Б.А. Доспехова (1985) и требованиями ГОСТ картофелеводства.

В наших опытах, в условиях предгорной зоны КБР, посадка клубней картофеля сортов «Удача» и «Нарт-1» проводилась во второй половине апреля. В целом, климат в регионе умеренно-континентальный. В

предгорной зоне КБР преобладают выщелоченные черноземы.

Учет всхожести клубней проводили путем подсчета процентного отношения всходов, появившихся на учетной делянке, к количеству посаженных на ней клубней. Учет всходов клубней картофеля сорта «Удача» в наших опытах проводили с 12 по 17 день после посева, а сорта «Нарт-1» - с 16 по 21 день после посадки.

Высоту растений измеряли в период цветения. Длину стеблей и их количество на куст определяли по средней пробе из 10 растений в каждой повторности опыта. Количество стеблей определяли после цветения. Учет урожая и массу клубней проводили вручную со всей учетной делянки. Подсчитывали количество клубней с одного куста и определяли их массу по 10 растениям с каждой делянки.

Статистическую обработку полученных данных проводили при 95% уровне достоверности с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2003, Statistica 6.0.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАЗНЫХ ЧАСТОТ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

3.1. Влияние ПемП разных частот на индивидуальное развитие *Drosophila melanogaster* в условиях эксперимента

Нам представляется особенно перспективным изучение воздействия ПемП разных частот на индивидуальное развитие дрозофил.

Известно, что индивидуальное развитие *Drosophila melanogaster* зависит от температуры, при которой происходит развитие. При оптимальной температуре (25° С) продолжительность стадий развития составляет 10 дней: эмбриональное развитие (около 24-25 часов); личиночный период (около 4-5 суток); стадия куколки (3-4 суток) (Медведев, 1968).

В контрольном варианте развитие дрозофилы - от яйца до взрослой особи длилось 9-10 дней и зависело от используемой линии дрозофилы. Эмбриональное развитие у всех линий дрозофил продолжалось один день. Личиночная стадия у линий *m-5*, *w^a* и *vg* затянулась до 5 дней, а у остальных линий составила 4 дня. Только у линий *sn* и *e* стадия куколки задерживалась на 1 день в отличие от остальных линий, где этот показатель составлял 4 дня. В результате, в контрольном варианте жизненный цикл у линий *K-c*, *B*, *y* и *w* составил 9 дней, а у линий *m-5*, *w^a*, *vg*, *sn* и *e* – 10 дней (рисунок 2).

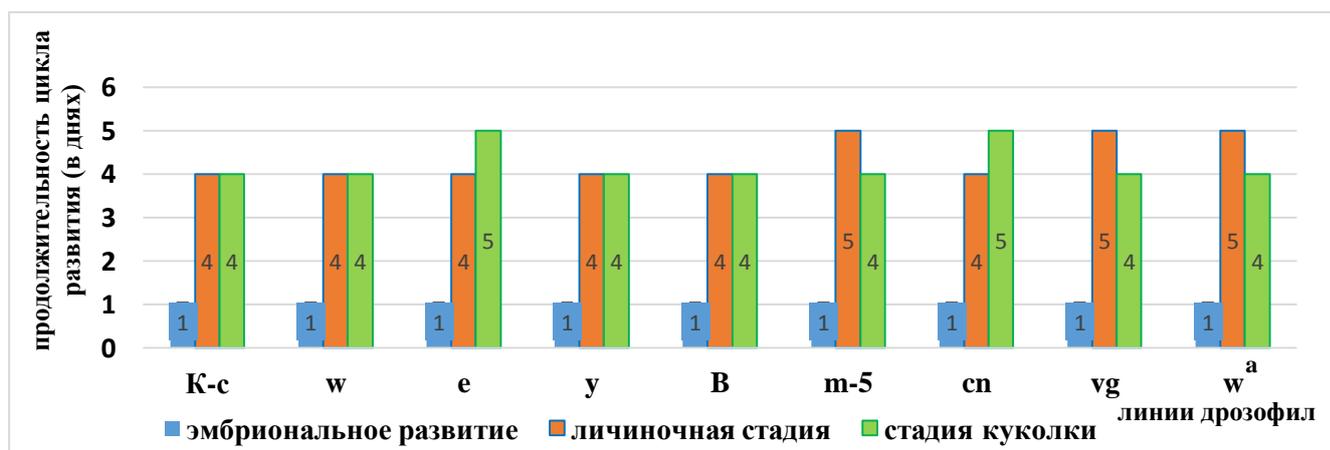


Рисунок 2- Продолжительность цикла развития (в днях) *Drosophila melanogaster* разных линий

При облучении ПемП частотой 8000 Гц мух дрозофил существенных изменений в цикле развития не наблюдали, за исключением линий *m-5* и *vg*. Для линии *m-5* чувствительным к данному фактору воздействия оказался личиночный период, он растянулся на 6 дней по сравнению с контролем, а стадия куколки осталась прежней, как и в контроле - 4 дня (рисунок 3). Для линии *vg* чувствительной оказалась стадия куколки, и составила в отличие от контроля 5 дней, а личиночный период остался прежним. В итоге у этих линий (*m-5*, *vg*)

жизненный цикл составил 11 дней, а у остальных линий цикл развития совпал с контрольным вариантом и равнялся 9-10 дней.

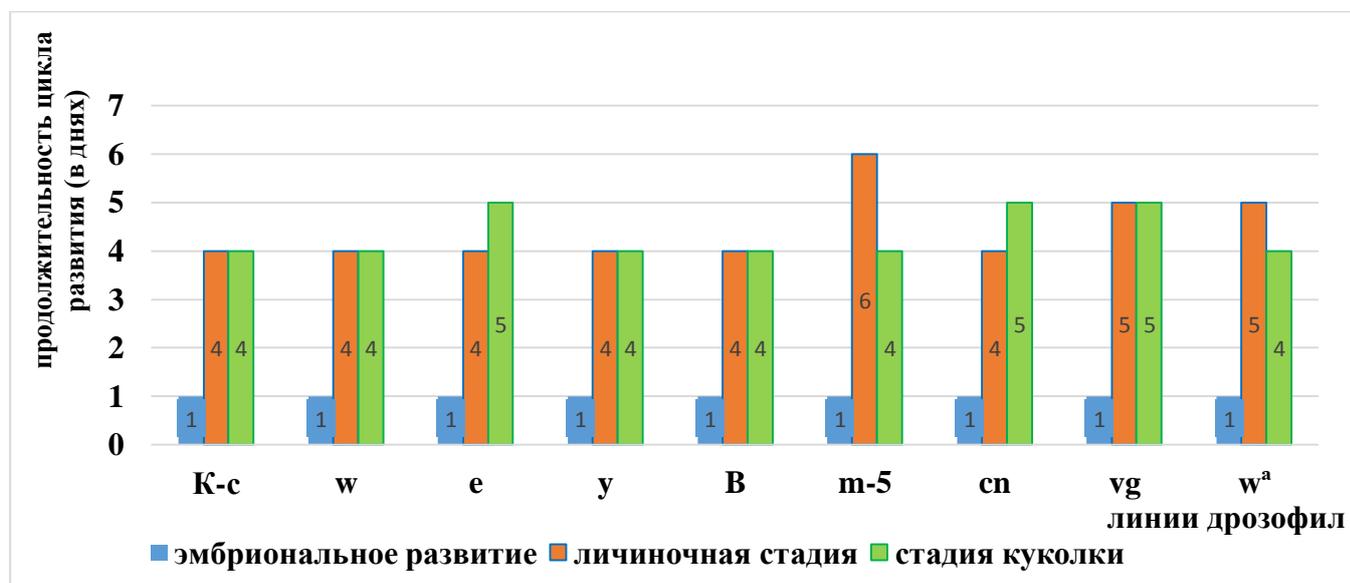


Рисунок 3- Влияние ПеМП частотой 8000 Гц на продолжительность цикла развития (в днях) *Drosophila melanogaster* разных линий

При облучении ПеМП частотой 15000 Гц, используемых линий дрозофил, наблюдалось замедление цикла развития по сравнению с контрольным вариантом и предыдущим экспериментом, где использовалось ПеМП частотой 8000 Гц. У более чувствительной линии *m-5* в этом опытном варианте личиночный период удлинился на 2 дня, а стадия куколки на 1 день (рисунок 4). У линий *vg* и *w^a* и личиночный период и стадия куколки увеличились на 1 день по сравнению с контролем. У линий *w*, *cn* и *K-c* чувствительным оказался личиночный период, который был продолжительнее на 1 день по сравнению с контролем, а стадия куколки осталась прежней. У остальных линий, как *y*, *e*, *B*, чувствительной к магнитному полю оказалась стадия куколки, которая затянулась на 1 день по сравнению с контролем.

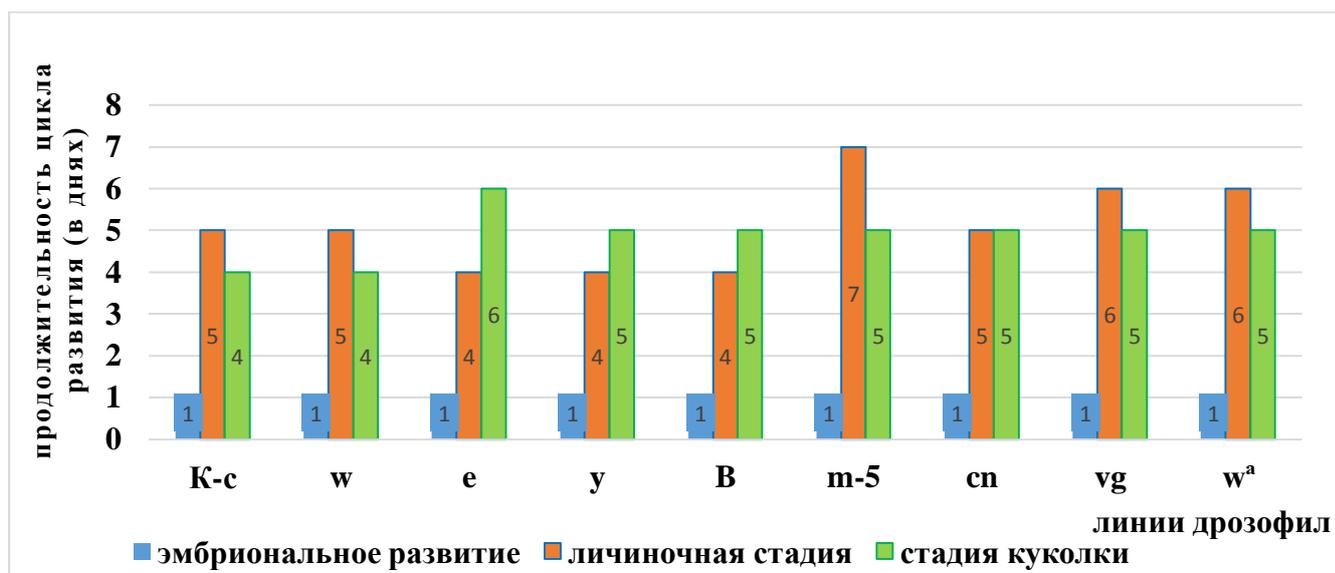


Рисунок 4 - Влияние ПеМП частотой 15000 Гц на продолжительность цикла развития (в днях) *Drosophila melanogaster* разных линий

Увеличение частоты ПеМП до 20000 Гц показало более существенные результаты. Здесь чувствительным к ПеМП оказались и личиночный период, и стадия куколки (рисунок 5).

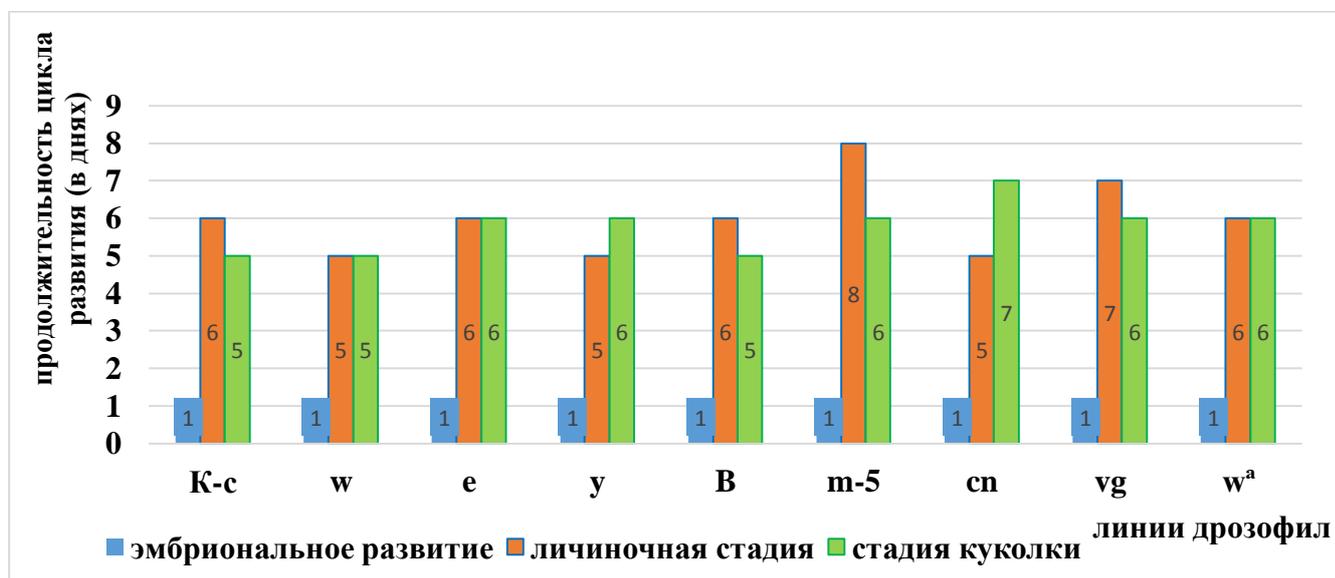


Рисунок 5 - Влияние ПеМП частотой 20000 Гц на продолжительность цикла развития (в днях) *Drosophila melanogaster* разных линий

Эмбриональное развитие осталось одинаковым для всех линий, как и в предыдущих опытах. Наиболее чувствительна к данному фактору линия *m-5*, у которой личиночный период растянулся на 3 дня в отличие от контроля, а стадия

куколки на 2 дня. Затем линия *vg*, где и личиночный период, и стадия куколки удлинен на 2 дня. На стадии куколки наибольшая продолжительность наблюдалась у линии *sn* - 7 дней.

Таким образом, исходя из полученных нами данных, можем сказать, что у используемых линий дрозофил неодинаковое индивидуальное развитие. С увеличением частоты ПеМП развитие дрозофилы замедляется. Это происходит за счет замедления стадии личинки и куколки на 3-5 дней по сравнению с контрольным вариантом. Такие линии, как *u* и *B*, имеют сходный показатель с диким типом *K-c* (рисунок 6). Цикл развития этих линий полностью совпал как в контроле, так и в проведенных экспериментах. В контроле и в эксперименте с частотой ПеМП 8000 Гц цикл длился 9 дней, при частоте ПеМП 15000 Гц - 10 дней, а при увеличении частоты до 20000 Гц - 12 дней.

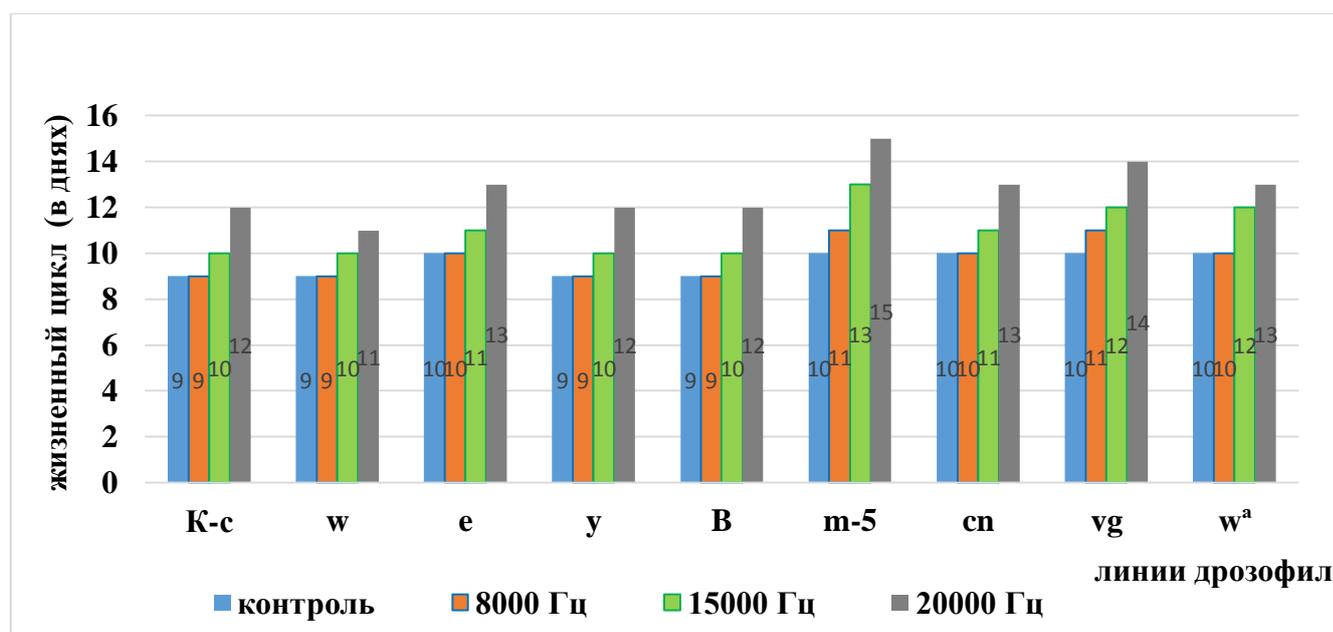


Рисунок 6 - Влияние ПеМП разных частот на жизненный цикл дрозофил

Также аналогичные показатели наблюдались у линий *e*, *sn* и *w^a*, где в контроле и в эксперименте с частотой ПеМП 8000 Гц цикл развития составлял 10 дней, при частоте 15000 Гц - 11 дней (в *w^a* - 12 дней), а при частоте ПеМП 20000 Гц удлинился на 3 дня. Линия *w* оказалась наименее чувствительной к используемому фактору во всех вариантах, где жизненный цикл удлинился на 2

Число вылетевших мух в %	1 неделя	контроль	63	59	60	62	62	53	59	60	61
		8000 Гц	61	58	60	60	61	50	58	60	59
		15000 Гц	54	51	49	42	41	39	41	41	43
		20000 Гц	32	31	34	31	29	20	29	32	30
	2 неделя	контроль	32	33	34	33	32	39	34	34	34
		8000 Гц	33	33	32	35	33	41	34	32	35
		15000 Гц	33	35	37	41	44	40	43	42	37
		20000 Гц	46	48	46	45	50	52	48	45	49
	3 неделя	контроль	5	8	6	5	6	8	7	6	5
		8000 Гц	6	9	8	5	6	9	8	8	6
		15000 Гц	13	14	14	17	15	21	16	17	20
		20000 Гц	22	21	20	24	21	26	23	23	21

Как видно, в контрольном варианте у всех линий дрозофил основной лет наблюдается на 1-й неделе, где процент вылетевших мух равен от 63 до 59 %, а у линии *m-5* - 53 %. При облучении ПеМП частотой 8000 Гц нами не отмечено существенных изменений по числу вылетевших мух по сравнению с контрольным вариантом. Основной лет дрозофил отмечается на 1-й и 2-й неделе, как и в контрольном варианте.

При воздействии ПеМП частотой 15000 Гц у исследуемых линий наблюдается сокращение количества вылетевших мух на 1-й неделе и увеличивается на следующих неделях. Например, у линии *B* в контроле на 1-й неделе вылет мух составил 62 %, а при частоте ПеМП 15000 Гц - 41 %. Наибольшая разница между вылетевшими мухами в контроле и опыте на 3-й неделе наблюдается у линии *w^a* - 15 %, и у линии *m-5* - 13 %. При увеличении частоты ПеМП до 20000 Гц видно, что количество вылетевших мух замедляется на 1-й неделе и повышается при следующих наблюдениях. В этом опытном варианте основная масса вылета приходится на 2-ю неделю.

Исходя из проведенного анализа эксперимента видно, что в контрольном варианте и при облучении ПеМП частотой 8000 Гц наибольший вылет мух приходится на 1-ю неделю, а при частоте ПеМП 15000 Гц и 20000 Гц максимум вылета отмечен на 2-й и 3-й неделе.

3.2 Влияние ПеМП разных частот на репродуктивный потенциал *Drosophila melanogaster*

Плодовитость *Drosophila melanogaster* в контрольном варианте

Для получения достоверных данных о влиянии ПеМП разных частот на выбранные линии *Drosophila melanogaster*, мы поставили контрольный вариант одновременно с экспериментальными, как было отмечено в методике. В контрольном варианте дрозофилы не подвергались облучению ПеМП.

При выявлении влияния ПеМП разных частот на репродуктивную способность у дрозофил использовали метод расчета по критерию Стьюдента.

Из данных, полученных нами контрольного варианта, видно, что существует разница в количестве куколок и вылетевших мух между использованными линиями *Drosophila melanogaster*, которая на наш взгляд, определяется генотипом исследуемых линий (таблица 2), поскольку условия содержания линий дрозофил были одинаковыми.

Таблица 2 - Общее количество образовавшихся куколок и вылетевших мух *Drosophila melanogaster* в контрольном варианте в условиях опыта

Линии дрозофил	Количество куколок $M \pm m$	Количество вылетевших мух $M \pm m$	Процент не вылетевших мух
К-с	263±2,0	257±2,2	2,3
w	261±3,6	250±4,1	4,2
e	237±3,4	227±3,6	4,2
y	257±4,1	244±5,0	5,0
B	240±2,2	234±2,0	2,5
m-5	138±2,3	131±2,5	5,0
cn	249±3,8	237±4,2	4,9
vg	254±4,5	242±4,0	4,8
w ^a	241±5,0	228±4,1	5,4

Так, наиболее плодовитыми оказались такие линии, как *К-с* (при количестве куколок - 263±2,0 вылет мух составил -257±2,2), *w* (количество куколок -261±3,6, количество вылетевших мух -250±4,1), *y* (количество куколок - 257±4,1, количество вылетевших мух – 244±5,0), *vg* (количество куколок - 254±4,5 количество вылетевших мух – 242±4,0). Самый низкий показатель наблюдается у линии *m-5* (количество куколок -138±2,3, количество вылетевших мух -131±2,5).

Из таблицы 2 видно, что большое количество куколок обеспечивает высокий вылет мух. Количество вылетевших мух отличается от числа куколок и зависит от генотипа. Для наглядной демонстрации данных построена диаграмма по проценту не вылетевших мух (рисунок 7).

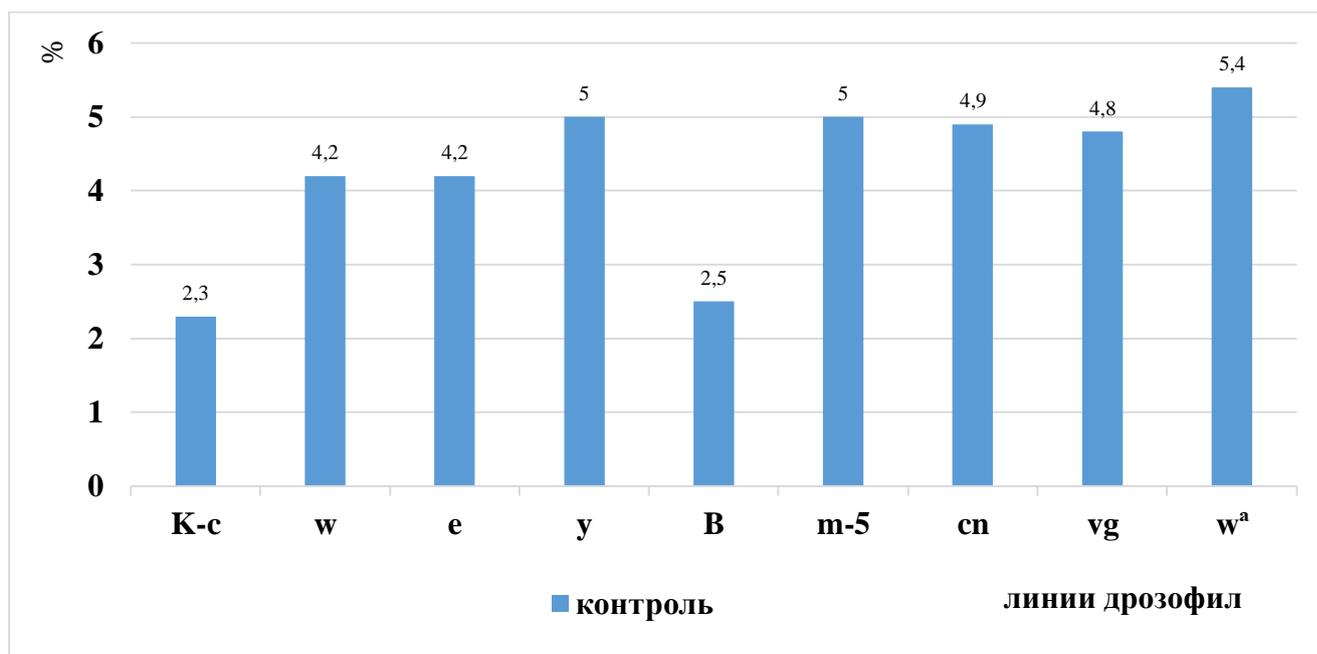


Рисунок 7- Количество не вылетевших мух *Drosophila melanogaster* в контрольном варианте (в процентах)

Из рисунка 7 видно, что при контрольном варианте процент не вылетевших мух невысок, и линии, включенные в эксперимент, имеют близкие показатели по данному признаку. Однако у некоторых линий, как *K-c* и *B*, он значительно ниже.

Влияние ПеМП частотой 8000 Гц на плодовитость *Drosophila melanogaster*

Из результатов эксперимента следует, что выбранные линии *Drosophila melanogaster* по-разному реагируют на облучение ПеМП данной частоты и можно сказать, что такая реакция зависит от генотипа мух *Drosophila melanogaster*.

В таблице 3 показано, что разница между контролем и опытным вариантами по образовавшимся куколкам и вылетевшим мухам незначительна.

Таблица 3 - Влияние ПеМП частотой 8000 Гц на число образовавшихся куколок и вылетевших мух *Drosophila melanogaster*

Линии дрозофил	Количество куколок $M \pm m$	Количество вылетевших мух $M \pm m$	Процент не вылетевших мух
контроль			
К-с	263±2,0	257±2,2	2,3
w	261±3,6	250±4,1	4,2
e	237±3,4	227±3,6	4,2
y	257±4,1	244±5,0	5,0
B	240±2,2	234±2,0	2,5
m-5	138±2,3	131±2,5	5,0
cn	249±3,8	237±4,2	4,9
vg	254±4,5	242±4,0	4,8
w ^a	241±5,0	228±4,1	5,4
опыт			
К-с	259±2,5	251±2,3	3,0
w	260±4,3	245±3,7	5,8
e	234±2,3	223±4,3	4,8
y	252±5,6	237±4,5	5,2
B	238±2,4	229±2,8	3,8
m-5	135±2,8	124±3,5	8,1
cn	244±5,0	230±4,4	5,7
vg	251±2,8	238±4,2	5,2
w ^a	232±5,7	217±4,2	6,5

Для наглядной демонстрации данных, приведенных в таблице 4, построена диаграмма (рисунок 8).

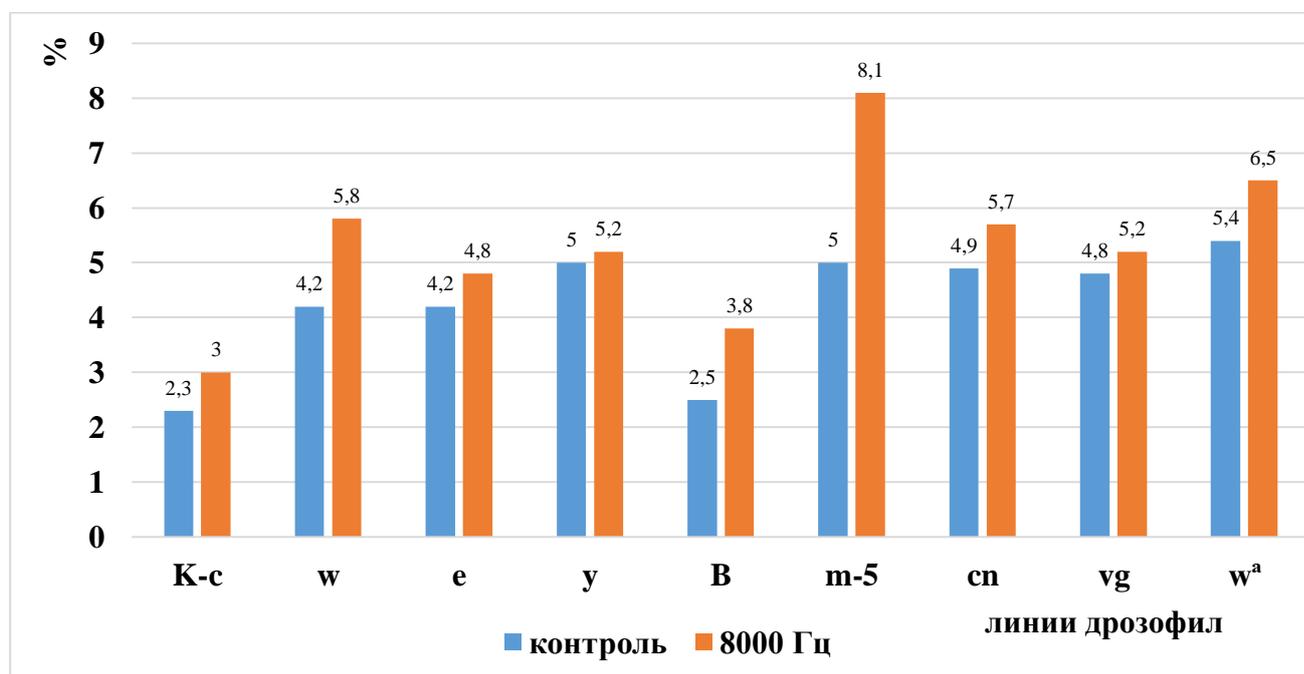


Рисунок 8 - Количество не вылетевших мух *Drosophila melanogaster* при облучении ПеМП частотой 8000 Гц (в %)

Как видно из рисунка 8, наименьший процент не вылетевших мух в опыте фиксируется у линии K-c – 3,0 %. В контрольном варианте данный показатель составлял– 2,3 %. Наибольшее число не вылетевших мух наблюдается у линии m-5 – 8,1 %. В остальных линиях число не вылетевших мух находится на уровне 6,5-3,8%. Из результатов видно, что только у линий y (0,2 %), vg (0,4 %) и e (0,6 %) не наблюдается существенных изменений исследуемых показателей после облучения ПеМП частотой 8000 Гц по сравнению с контролем.

Таким образом, в условиях опыта, влияние переменного магнитного поля частотой 8000 Гц на репродуктивную способность мух *Drosophila melanogaster* незначительно. По сравнению с контролем различия показателей не являлись статистически значимым ($p > 0,05$) и определялись генотипом использованных линий дрозофил.

Влияние ПемП частотой 15000 Гц на плодовитость *Drosophila melanogaster*

Данный эксперимент показал, что при повышении частоты ПемП до 15000 Гц, плодовитость линий *Drosophila melanogaster* значительно снижается по сравнению с контролем и предыдущим опытом, где ПемП использовалось с частотой 8000 Гц (таблица 4).

Таблица 4 - Влияние ПемП частотой 15000 Гц на число образовавшихся куколок и вылетевших мух *Drosophila melanogaster*

Линии дрозофил	Количество куколок $M \pm m$	Количество вылетевших мух $M \pm m$	Процент не вылетевших мух
контроль			
К-с	263±2,0	257±2,2	2,3
w	261±3,6	250±4,1	4,2
e	237±3,4	227±3,6	4,2
y	257±4,1	244±5,0	5,0
B	240±2,2	234±2,0	2,5
m-5	138±2,3	131±2,5	5,0
cn	249±3,8	237±4,2	4,9
vg	254±4,5	242±4,0	4,8
w ^a	241±5,0	228±4,1	5,4
опыт			
К-с	247±3,2	218±4,0 ^{***}	11,8
w	249±4,2	230±4,1 ^{**}	7,7
e	226±3,2	204±4,5 ^{**}	9,8
y	231±2,7	216±4,5 ^{**}	6,5
B	229±3,2	205±2,8 ^{***}	10,5

m-5	128±2,0	112±2,3 ^{***}	12,5
cn	226±4,4	194±5,2 ^{***}	14,2
vg	240±2,6	212±3,8 ^{***}	11,6
w ^a	213±5,2	186±5,3 ^{***}	12,7

Здесь и далее: отличия от контроля достоверны при: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$;
*** – $p < 0,001$

Из данных таблицы 4 видно, что ПемП частотой 15000 Гц по сравнению с контрольным вариантом оказало достоверное ($p < 0,01$; $p < 0,001$) влияние на уменьшение количество куколок и вылетевших мух.

Наиболее чувствительной линией к действию этой частоты оказалась линия *cn*, у которой при облучении образовалось 226±4,4 куколок, из которых вылетевших - 194±5,2 ($p < 0,001$). Также, у линии *K-c* эти показатели снизились до 247±3,2 и 218±4,0 ($p < 0,001$) соответственно. Плодовитость этой линии в данном опыте снизилась на 9,5 % по сравнению с контролем.

А более устойчивой к данному облучению оказалась линия - *y*. Разница по числу образовавшихся куколок и вылетевших мух по сравнению с контролем не значительна. В контроле у этой линии образовалась 257±4,1 куколок, из них 244±5,0 вылетевших мух, при облучении из 231±2,7 куколок вылетело 216±4,5 ($p < 0,01$) мух.

Из диаграммы (рисунок 9) видно, что из всех используемых линий, у *cn* наибольший процент не вылетевших мух, и составляет 14,2 %. Далее за этой линией следует также линии *w^a* и *m-5*, где % не вылетевших мух равен 12,7 % и 12,5 % соответственно. Самый меньший % в этом опыте у линии *y* – 6,5 %.

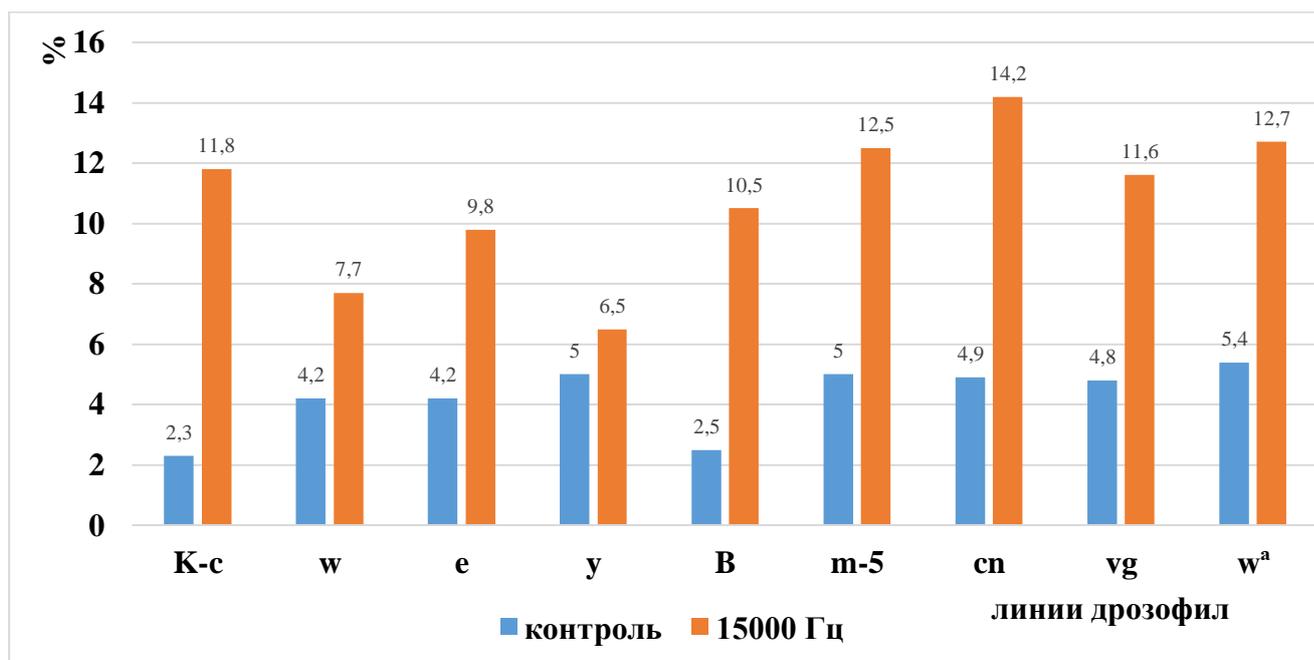


Рисунок 9 - Количество не вылетевших мух *Drosophila melanogaster* при облучении ПеМП частотой 15000 Гц (в %)

Таким образом, увеличение частоты ПеМП до 15000 Гц достоверно снижает продуктивность различных генотипов мух по сравнению с контрольным и первым опытным вариантами.

Влияние ПеМП частотой 20000 Гц на плодовитость *Drosophila melanogaster*

При применении ПеМП частотой 20000 Гц наблюдается достоверное уменьшение количества куколок и вылетевших имаго, т.е. снижение плодовитости всех используемых линий дрозофил.

Полученные данные представлены в таблице 5, где видно, что линии *vg*, *cn*, а также линии *m-5* и *w^a* наиболее чувствительны к действию ПеМП частотой 20000 Гц по сравнению с контролем, а линия *y* оказалась менее чувствительной.

Например, количество образовавшихся куколок в опытном варианте у линии *cn* - $183 \pm 5,6$, из них вылетевших имаго - $143 \pm 6,7$. Эти показатели в контрольном варианте составляли $249 \pm 3,8$ и $237 \pm 4,2$ соответственно.

Плодовитость данной линии резко снизилась ($p < 0,001$) по сравнению с контролем.

Таблица 5 - Влияние ПеМП частотой 20000 Гц на число образовавшихся куколок и вылетевших мух *Drosophila melanogaster*

Линии дрозофил	Количество куколок $M \pm m$	Количество вылетевших мух $M \pm m$	Процент не вылетевших мух
контроль			
К-с	263±2,0	257±2,2	2,3
w	261±3,6	250±4,1	4,2
e	237±3,4	227±3,6	4,2
y	257±4,1	244±5,0	5,0
B	240±2,2	234±2,0	2,5
m-5	138±2,3	131±2,5	5,0
cn	249±3,8	237±4,2	4,9
vg	254±4,5	242±4,0	4,8
w ^a	241±5,0	228±4,1	5,4
опыт			
К-с	234±3,0	193±5,0 ^{***}	17,6
w	232±3,8	195±4,3 ^{***}	16,0
e	174±6,0	150±4,0 ^{***}	14,0
y	207±3,0	182±4,7 ^{***}	12,1
B	204±4,7	167±4,2 ^{***}	18,2
m-5	106±3,5	86±5,0 ^{***}	18,9
cn	183±5,6	143±6,7 ^{***}	21,9
vg	226±3,8	175±4,6 ^{***}	22,6
w ^a	172±4,4	140±5,4 ^{***}	18,7

Также резкое снижение наблюдается и у линии К-с. В контрольном варианте из 263±2,0 куколок вылетело 257±2,2 мух, а при облучении образовалось

234±3,0 куколок и вылетело только 193±5,0 имаго, на 15,3 % меньше, чем в контрольном варианте. Линия у более устойчива к действию ПеМП частотой 20000 Гц. Из образовавшихся 207±3,0 куколок в опыте, вылетело 182±4,7 (p<0,001) имаго.

Из рисунка 10 видим, что у линии *vg* наибольший процент не вылетевших мух -22,6 %, и у линии *sn* этот показатель составляет 21,9 %. А наименьший процент в этом опыте зафиксирован у линии *у* -12,1 %.

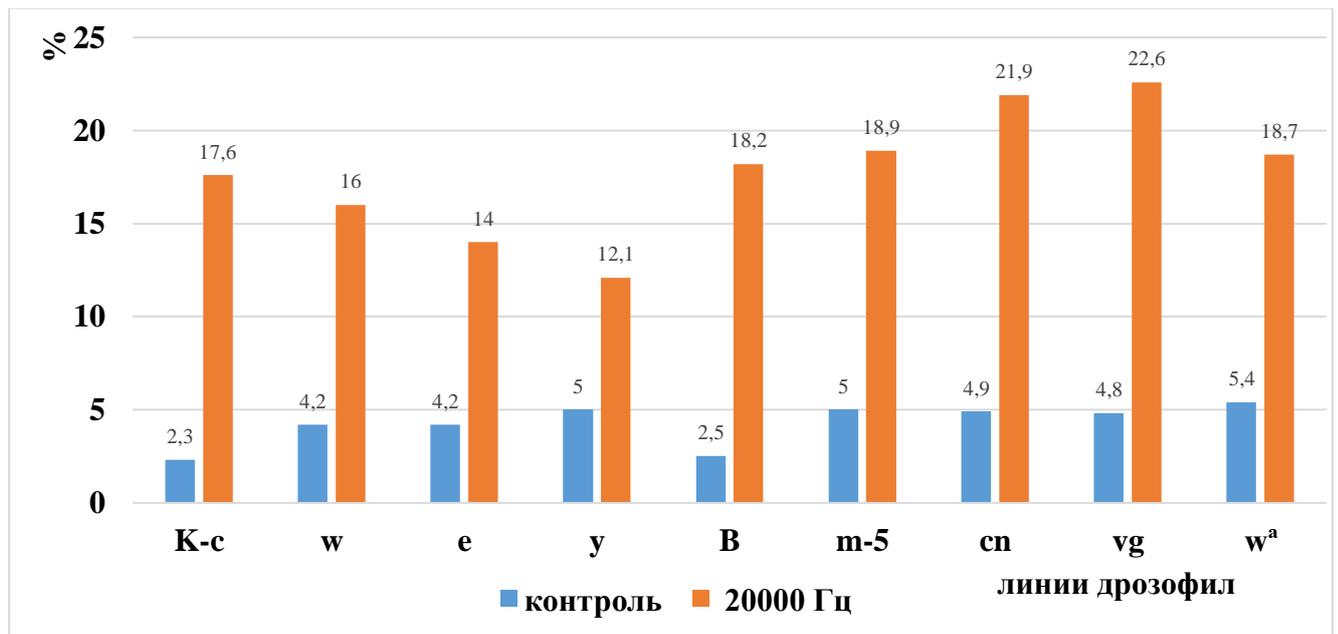


Рисунок 10 - Количество не вылетевших мух *Drosophila melanogaster* при облучении ПеМП частотой 20000 Гц (в %)

Исходя из полученных нами данных, сделали вывод, что увеличение частоты воздействия ПеМП значительно уменьшает (p<0,001) плодовитость используемых в эксперименте линий дрозофил.

Сравнительный анализ влияния ПеМП разных частот на плодовитость *Drosophila melanogaster*

При проведении эксперимента по влиянию ПемП разных частот на размножение *Drosophila melanogaster* мы заметили, что с увеличением частоты воздействия, количество куколок и количество вылупившихся имаго достоверно уменьшались, а реакция на такое воздействие зависела от генотипа используемых линий дрозофилы.

Аналогичную тенденцию отмечали и другие исследователи (Варенцова и др., 1985; Моссэ, 1986; Федоров и др., 2012).

Например, по данным Т.Ю. Олейниковой и И.В. Мельник (2011), выявлено снижение плодовитости *Drosophila melanogaster* под действием ЭМП низкой частоты 5 Гц и высокой частоты 27 ГГц. Также, при наличии солей тяжелых металлов в питательной среде по отдельности и в различных сочетаниях и концентрациях, плодовитость дрозофилы снижалась (Магулаева, 2011).

Относительно механизмов действия магнитных полей на организм существует разные гипотезы. Как считают И.Р. Князева и др. (2007), существуют общие мишени для воздействия электромагнитного излучения, например, воздействие на мембрану и мембрано-связанные комплексы. По мнению авторов, радиационное воздействие в этом случае может быть направлено на изменение электрического заряда мембраны и инициирование перекисного окисления липидов, что приводит к гибели отдельных клеток и всего организма. Следствием такого действия может быть активация программы гибели клеток (апоптоз), которая изменяет продолжительность жизни организма и, возможно, затрагивает ее репродуктивную функцию.

Однако, по мнению И.Б. Моссэ и др. (1986), «в популяциях, длительно подвергавшихся облучению в малых дозах, формируются адаптационные способности, обусловленные повышенной скоростью яйцекладки. При воздействии малых доз ионизирующего излучения в популяциях возрастает частота «адаптивных» для организма событий, которые, включаясь в популяционный генофонд, повышают их приспособительные возможности, плодовитость и жизнеспособность».

Как отмечалось выше, ПемП частотой 8000 Гц оказывает незначительное влияние на дрозофилу по сравнению с контролем (таблица 6).

Таблица 6 - Влияние ПеМП разных частот на число образовавшихся куколок и вылетевших мух *Drosophila melanogaster*

Линии дрозофил	Контроль			8000 Гц			15000 Гц			20000 Гц		
	кол-во куколок	кол-во вылет. мух	% не вылет. мух	кол-во куколок	кол-во вылет. мух	% не вылет. мух	кол-во куколок	кол-во вылет. мух	% не вылет. мух	кол-во куколок	кол-во вылет. мух	% не вылет. мух
К-с	263±2,0	257±2,2	2,3	259±2,5	251±2,3	3,0	247±3,2	218±4,0**	11,8	234±3,0	193±5,0***	17,6
w	261±3,6	250±4,1	4,2	260±4,3	245±3,7	5,8	249±4,2	230±4,1**	7,7	232±3,8	195±4,3***	16,0
e	237±3,4	227±3,6	4,2	234±2,3	223±4,3	4,8	226±3,2	204±4,5**	9,8	174±6,0	150±4,0***	14,0
y	257±4,1	244±5,0	5,0	252±5,6	237±4,5	5,2	231±2,7	216±4,5**	6,5	207±3,0	182±4,7***	12,1
B	240±2,2	234±2,0	2,5	238±2,4	229±2,8	3,8	229±3,2	205±2,8***	10,5	204±4,7	167±4,2***	18,2
m-5	138±2,3	131±2,5	5,0	135±2,8	124±3,5	8,1	128±2,0	112±2,3***	12,5	106±3,5	86±5,0***	18,9
cn	249±3,8	237±4,2	4,9	244±5,0	230±4,4	5,7	226±4,4	194±5,2***	14,2	183±5,6	143±6,7***	21,9
vg	254±4,5	242±4,0	4,8	251±2,8	238±4,2	5,2	240±2,6	212±3,8***	11,6	226±3,8	175±4,6***	22,6
w ^a	241±5,0	228±4,1	5,4	232±5,7	217±4,2	6,5	213±5,2	186±5,3***	12,7	172±4,4	140±5,4***	18,7

Различия с контролем значимы при: ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$

Из данных таблицы 6 видно, что к действию ПемП частотой 8000 Гц более чувствительна линия *m-5*, где процент не вылетевших мух составляет 8,1 %; более стабильна - линия *K-c* - 3,0 %.

С увеличением частоты ПемП до 15000 Гц количество образовавшихся куколок и вылетевших мух уменьшилось по сравнению с контролем. Наибольший процент не вылетевших мух в этом опыте наблюдался у линии *cn* - 14,2 %. Линия *K-c*, которая была более устойчивой в первом опыте (3,0 %), процент не вылетевших мух составил уже 11,8 %. В этом эксперименте самый низкий процент не вылетевших мух был зафиксирован у линии *y* – 6,5 %.

После увеличения частоты ПемП до 20000 Гц мы наблюдали еще большее снижение плодовитости используемых линий дрозофил. Например, если сравнить с предыдущим экспериментом, то у линии *vg* процент не вылетевших мух увеличился на 11,0 % (11,6 % → 22,6 %), за ней следует *cn* - на 7,7 % (14,2 % → 21,9 %), у этой линии наблюдался самый высокий процент не вылетевших мух при использовании 15000 Гц. Минимальный процент не вылетевших мух у линии *y* составляет 12,1 %, как и в предыдущем эксперименте.

Более наглядно наши данные показаны на рисунке 11.

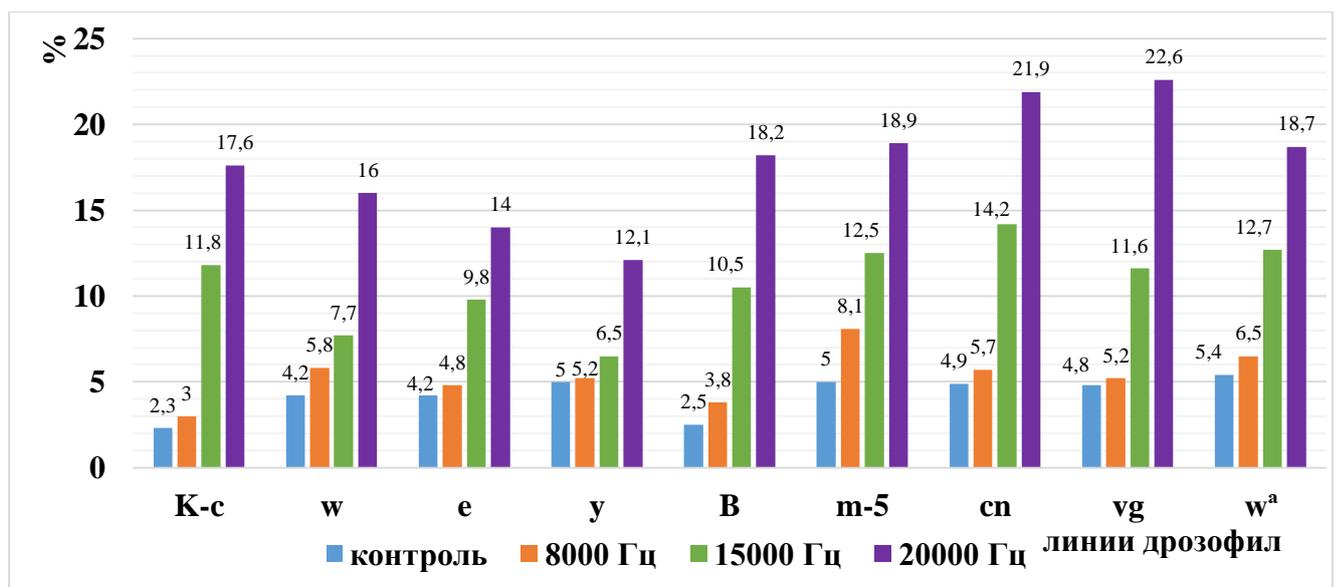


Рисунок 11 - Количество не вылетевших мух *Drosophila melanogaster* при облучении ПемП разных частот (в %)

В результате анализа полученных экспериментальных данных, можно сказать, что переменное магнитное поле разных частот влияет на репродуктивную способность используемой тест-системы и зависит от частоты магнитного воздействия. С увеличением частоты облучения количество появляющихся куколок и количество вылетевших имаго достоверно уменьшается ($p < 0,01$; $p < 0,001$) у всех изученных линий дрозофил.

3.3. Оценка вклада отдельных факторов в выявленные биологические эффекты

Получив достоверные данные в эксперименте, благодаря использованию ряда статистических методов, мы продолжили дальнейший их анализ с помощью дисперсионного метода, предложенного Р.А. Фишером в 1925 г. В настоящее время его считают наиболее совершенным для статистической обработки экспериментального материала, в том числе получаемого в лабораторных условиях. Особенностью этого метода является возможность оценить результаты опытов как в целом, так и отдельных факторов воздействия на объект изучения. Дисперсионный анализ позволяет определить степень влияния (долю) каждого фактора и их совместное влияние, что очень важно в двух и многофакторных исследованиях. В указаниях по использованию дисперсионного метода указывается необходимость определить общее варьирование экспериментальных данных, которое характеризуется суммой квадратов отклонений всех наблюдений от общей средней и которое можно расчленить на составные части изменчивости, наблюдаемые в эксперименте.

Чтобы получить представление об эффективности каждого изучаемого фактора и их взаимодействии, составлена таблица 7 дисперсионного анализа. В качестве данных использовали результаты наблюдений и подсчетов (таблица 6), характеризующее число вылетевших мух (на конечную дату) в условиях эксперимента.

Таблица 7 - Результаты дисперсионного анализа

Вид варьирования	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат дисперсий	Отношение дисперсий	
				Fфакт.	Fтабл.
Общее	206946,7	107	-	-	-
Фактор А (линии дрозофил)	121122,95	8	15140,3	388,2	5,32
Фактор Б (частоты ПеМП)	78716,7	3	26238,9	672,7	10,13
Взаимодействие АБ	4295,05	24	179	4,58	4,26
Остаточное	2812	72	39	-	-

Из данных таблицы 7 видно, что действие изучаемых факторов и их взаимодействие существенно, так как фактическое значение F для фактора А и фактора Б значительно превосходит табличное при уровне вероятности $P=0,05$.

Затем определяли составные части, относящиеся к главным эффектам факторов и их взаимодействию (в %).

Эффект всех факторов 100 %:

влияние повторений – 0,07 %;

влияние фактора А – 58, 5 %;

влияние фактора Б – 38,1 %;

взаимодействие факторов АБ – 2,1 %;

влияние случайных факторов – 1,3 %.

Из полученных данных также видно, что влияние каждого фактора и их взаимодействия различны. Наиболее чувствительной к влиянию ПеМП оказались линии дрозофил. Этот фактор составляет 58,5 % влияния. Действие фактора Б

(частоты ПеМП) менее существенно и составляет 38,1 %, а доля взаимодействия факторов составляет всего 2,1 %. Тем не менее взаимодействие факторов АБ достоверно, т.к. оно превосходит случайное варьирование, которое равно 1,3 % и больше табличного по критерию Фишера.

Следующим этапом дисперсионного анализа является установление наименьшей существенной разницы ($НСР_{0,95}$) между средними показателями используемых факторов исследования. Наименьшая существенная разница составила 9,9 (число вылетевших мух). Этот показатель между средними данными вариантов опыта.

Полученные данные свидетельствуют о том, что разница между средними показателями опытных вариантов по числу вылетевших мух была существенна, так как разница между вариантами больше, чем НСР.

Для иллюстрации приведенных закономерностей построен график зависимости числа вылетевших мух от генотипических различий линий и частоты облучения (рисунок 12).

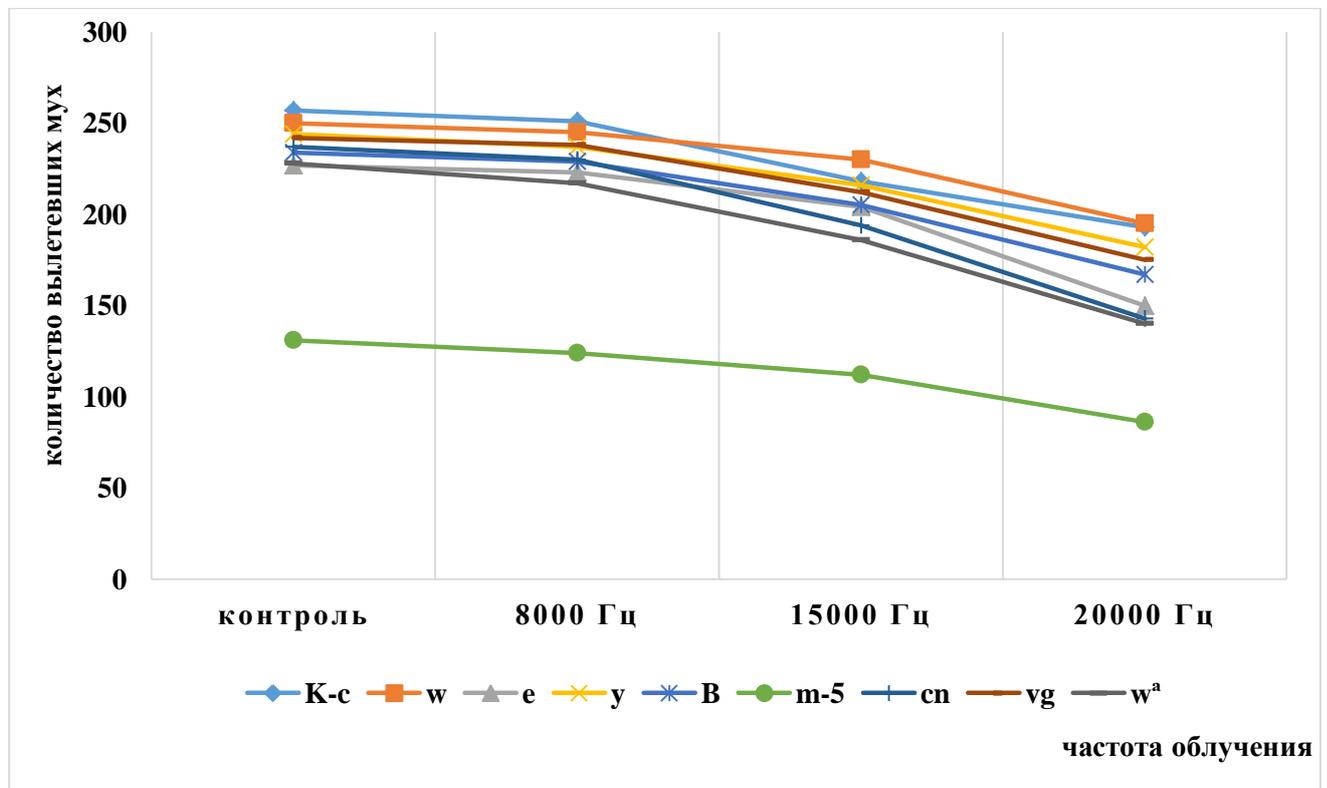


Рисунок 12 - Зависимость числа вылетевших мух от генотипических особенностей линий и используемых частот ПеМП

Из рисунка 12 видно, что наиболее чувствительная частота ПеМП – 20000 Гц, при которой наблюдается значительное снижение числа вылетевших мух в условиях эксперимента. А из используемых линий дрозофил чувствительной к ПеМП оказалась линия *m-5*. По нашим данным, именно генотип линий определяет степень реакции на воздействующий фактор.

Таким образом, использование дисперсионного двухфакторного метода анализа данных показало, что генотипический фактор оказывает ведущую роль, а его взаимодействие с частотами ПеМП в условиях опыта оказалось незначительно.

3.4 Влияние ПеМП разных частот на половую структуру экспериментальных групп *Drosophila melanogaster*

По данным некоторых исследователей (Азарова, 2005; Федоров и др., 2012; Магулаева, 2012 и др.), при воздействии терагерцовым излучением, искусственным магнитным полем, а также солями тяжелых металлов, у дрозофил наблюдались отклонения в соотношении полов по сравнению с нормальным ожидаемым соотношением 1/1. По нашим наблюдениям преобладают преимущественно особи женского пола.

Соотношение полов у *Drosophila melanogaster*

При установлении влияния ПеМП разных частот на соотношение полов у дрозофил нами использован метод расчета χ^2 (критерий Пирсона),

Из данных контрольного варианта следует, что разница между количеством вылупившихся самок и самцов не существенна, и их соотношение равно 1/1, что соответствует теоретически ожидаемому (таблица 8). Однако разница в процентах у линий *m-5* (8,4 %) и у (6,4 %) наивысшая.

Таблица 8 - Соотношение полов у *Drosophila melanogaster* в контрольном варианте

Линии дрозофил	Количество вылетевших мух $M \pm m$	♀	♂	Процентное соотношение ♀/♂	Соотношение ♀/♂	χ^2	Разница в %
К-с	257±2,2	132	125	51,4/48,6	1/1	0,18	2,8
w	250±4,1	130	120	52,0/48,0	1/1	0,40	4,0
e	227±3,6	115	112	50,6/49,4	1/1	0,02	1,2
y	244±5,0	130	114	53,2/46,8	1/1	1,04	6,4
B	234±2,0	120	114	51,3/48,7	1/1	0,14	2,6
m-5	131±2,5	71	60	54,2/45,8	1/1	0,92	8,4
cn	237±4,2	121	116	51,1/48,9	1/1	0,10	2,2
vg	242±4,0	124	118	51,2/48,8	1/1	0,14	2,4
w ^a	228±4,1	117	111	51,3/48,7	1/1	0,14	2,6

Влияние ПеМП частотой 8000 Гц на соотношение полов *Drosophila melanogaster*

Результаты, полученные при облучении ПеМП частотой 8000 Гц, показывают, что все линии, включенные в эксперимент, не имеют отклонений в соотношении полов по сравнению с контрольным вариантом и составляют 1/1, что хорошо видно в таблице 9 и рисунке 13.

Таблица 9 - Влияние ПеМП частотой 8000 Гц на соотношение полов *Drosophila melanogaster*

Линии дрозофил	Количество вылетевших мух M ± m	♀	♂	Процентное соотношение ♀/♂	Соотношение ♀/♂	χ^2	Разница в %
контроль							
К-с	257±2,2	132	125	51,4/48,6	1/1	0,18	2,8
w	250±4,1	130	120	52,0/48,0	1/1	0,40	4,0
e	227±3,6	115	112	50,6/49,4	1/1	0,02	1,2
y	244±5,0	130	114	53,2/46,8	1/1	1,04	6,4
B	234±2,0	120	114	51,3/48,7	1/1	0,14	2,6
m-5	131±2,5	71	60	54,2/45,8	1/1	0,92	8,4
cn	237±4,2	121	116	51,1/48,9	1/1	0,10	2,2
vg	242±4,0	124	118	51,2/48,8	1/1	0,14	2,4
w ^a	228±4,1	117	111	51,3/48,7	1/1	0,14	2,6
опыт							
К-с	251±4,2	128	123	51,0/49,0	1/1	0,08	2,0
w	245±3,7	128	117	52,2/47,8	1/1	0,48	4,4
e	223±4,3	114	109	51,1/48,9	1/1	0,11	2,2
y	237±4,5	126	111	53,2/46,8	1/1	0,94	6,4
B	229±2,8	118	111	51,5/48,5	1/1	0,20	3,0
m-5	124±3,5	68	56	54,8/45,2	1/1	1,16	9,6
cn	230±5,4	118	112	51,3/48,7	1/1	0,20	2,6
vg	238±4,2	123	115	51,7/48,3	1/1	0,26	3,4
w ^a	217±4,2	113	104	52,0/48,0	1/1	0,26	4,0

Из табличных данных можно заметить, что в этом эксперименте, по сравнению с контролем немного увеличивается процентная разница между количеством самок и самцов. Например, у линии *m-5*, где в контроле была наивысшая разница в соотношении полов – 8,4 %, в этом опыте составила 9,6 %. У линии *w^a* разница между количеством самок и самцов увеличилась на 1,4 %, но соотношение полов осталось такое же как в контроле 1/1. В остальных линиях наблюдали также незначительное преобладание количества самок над количеством самцов, где разница в соотношении полов выросла на 0,4 -1,0 % по сравнению с контрольным вариантом. Во всех линиях дрозофил количество самок и самцов достоверно не отличались (значения χ^2 представлены в таблице) и соотношение полов составило 1:1 как и в контрольном варианте.

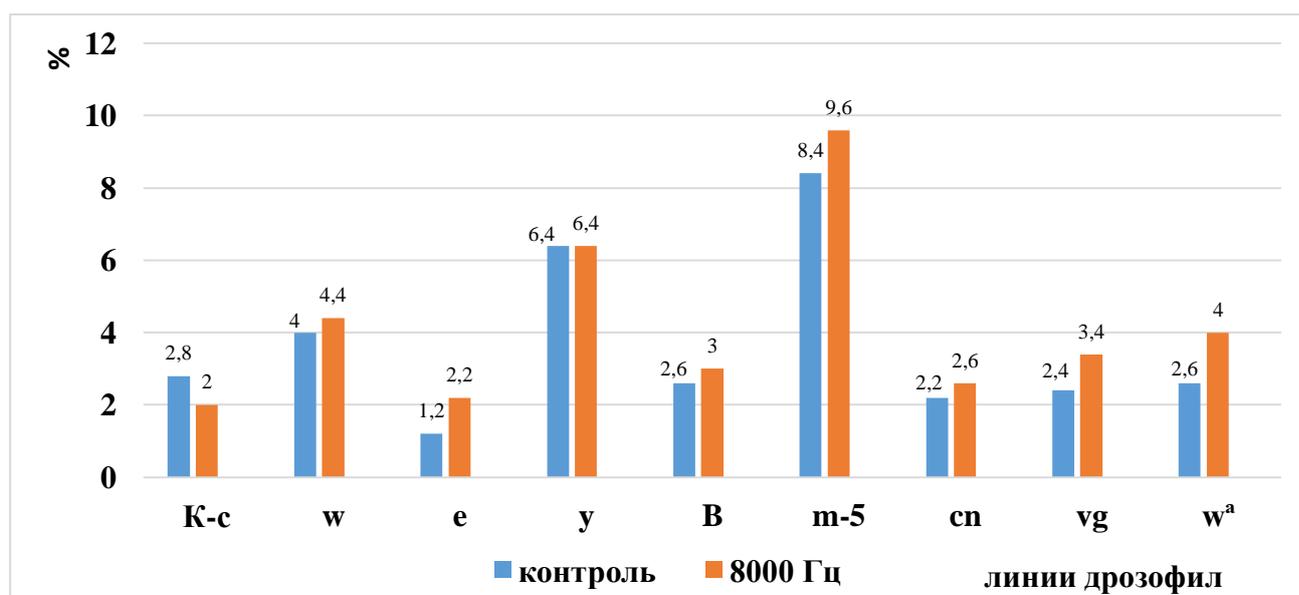


Рисунок 13 - Соотношение полов ($\text{♀}/\text{♂}$) у разных линий дрозофил при воздействии ПеМП частотой 8000 Гц по сравнению с контролем (разница в %)

Влияние ПеМП частотой 15000 Гц на соотношение полов *Drosophila melanogaster*

Результаты опытного варианта, в котором частота ПеМП увеличена до 15000 Гц представлены в таблице 10, где заметно преобладание количества самок

над количеством самцов по сравнению с контрольными данными и облучением ПеМП частотой 8000 Гц.

Таблица 10 - Влияние ПеМП частотой 15000 Гц на соотношение полов *Drosophila melanogaster*

Линии дрозофил	Количество вылетевших мух M ± m	♀	♂	Процентное соотношение ♀/♂	Соотношение ♀/♂	χ^2	Разница в %
контроль							
К-с	257±2,2	132	125	51,4/48,6	1/1	0,18	2,8
w	250±4,1	130	120	52,0/48,0	1/1	0,40	4,0
e	227±3,6	115	112	50,6/49,4	1/1	0,02	1,2
y	244±5,0	130	114	53,2/46,8	1/1	1,04	6,4
B	234±2,0	120	114	51,3/48,7	1/1	0,14	2,6
m-5	131±2,5	71	60	54,2/45,8	1/1	0,92	8,4
cn	237±4,2	121	116	51,1/48,9	1/1	0,10	2,2
vg	242±4,0	124	118	51,2/48,8	1/1	0,14	2,4
w ^a	228±4,1	117	111	51,3/48,7	1/1	0,14	2,6
опыт							
К-с	218±4,0	125	93	57,3/42,7	1,1/0,9	4,68	14,6
w	230±4,1	147	83	63,9/36,1	1,3/0,7	17,80	27,8
e	204±4,5	116	88	56,9/43,1	1,1/0,9	3,84	13,8
y	216±4,5	134	82	62,0/38,0	1,2/0,8	12,50	24,0
B	205±2,8	128	77	62,4/37,6	1,2/0,8	12,68	24,8
m-5	112±2,3	73	39	65,2/34,8	1,3/0,7	10,32	30,4
cn	194±5,2	115	79	59,3/40,7	1,2/0,8	6,68	18,6
vg	212±3,8	128	84	60,4/39,6	1,2/0,8	9,12	20,8
w ^a	186±5,3	111	75	59,7/40,3	1,2/0,8	6,96	19,4

Из данных, приведенных в таблице 10, видно, что в потомстве самок во всех используемых линиях наблюдается достоверное увеличение по сравнению с количеством самцов. Наибольшее увеличение количества самок происходит у линии *m-5*, как и в предыдущем варианте опыта и в контроле, а также у линии *w*. Например, у линии *m-5* соотношение полов в контроле и при частоте 8000 Гц составило 1/1, а при повышении частоты ПемП до 15000 Гц этот показатель равно 1,3/0,7 ($\chi^2=10,32$), так и у линии *w* 1,3/0,7 ($\chi^2=17,80$). У других линий, как *y*, *vg*, *B*, *w^a* и *cn*, соотношение полов составило 1,2/0,8; а у линий *K-c* и *e* – 1,1/0,9.

Указанные различия хорошо иллюстрируют данные, рассмотренные на рисунке 14.

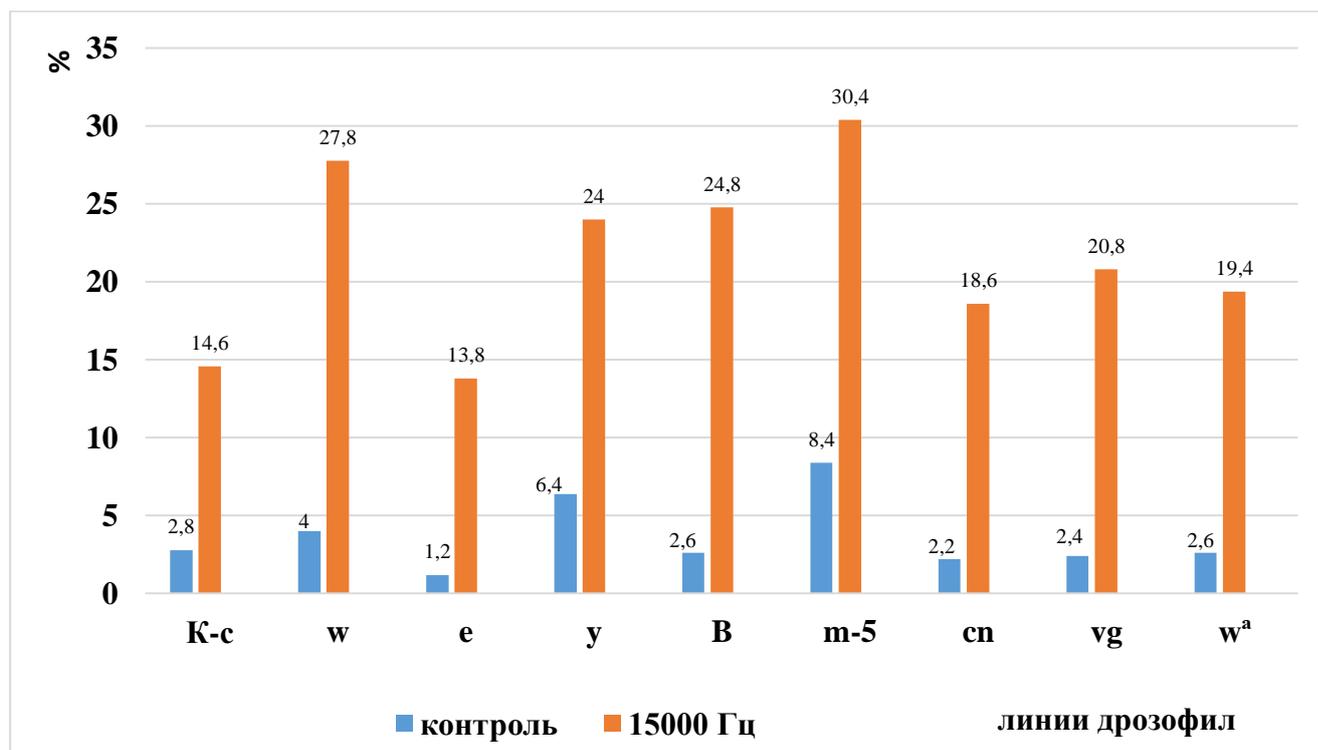


Рисунок 14 - Соотношение полов (♀/♂) у разных линий дрозофил при воздействии ПемП частотой 15000 Гц по сравнению с контролем (разница в %)

Из рисунка 14 видно, что изменение в соотношении полов у исследуемых линий зависит от генотипа линий. Наибольший разрыв в соотношении полов наблюдается, как отмечалось выше, у линий *m-5* и *w*, где разница между количеством самок и самцов (в %) составляет 30,4 % и 27,8 % соответственно. За

этими линиями по данному показателю следуют линии *B* – 24,8 %, *y* – 24,0 %, *vg* – 20,8 %, *w^a* – 19,4 %, *cn* – 18,6 %, *K-c* – 14,6 %, *e* – 13,8 %. Количество самок и самцов отличались достоверно (значения χ^2 для каждой линии приведены в таблице 10).

Влияние ПемП частотой 20000 Гц на соотношение полов *Drosophila melanogaster*

При увеличении частоты ПемП до 20000 Гц мы наблюдаем значительную разницу между количеством самок и самцов, что свидетельствует об их генотипических реакциях на внешний фактор.

Наиболее значительный разрыв в соотношении полов по сравнению с первым и вторым вариантами опыта отмечен у линий *m-5* (68,6/31,4); *w* (67,2/32,8); *vg* (64,6/35,4) (таблица 11). Линии *e* (62,7/37,3) и *K-c* (62,6/37,4) оказались более устойчивыми к влиянию ПемП частотой 20000 Гц. У линий *m-5* и *w* соотношение полов составило 1,4/0,6, а у остальных линий, как *K-c*, *e*, *y*, *B*, *cn*, *vg* и *w^a*, соотношение полов составило 1,3/0,7.

Таблица 11 - Влияние частоты ПемП 20000 Гц на соотношение полов *Drosophila melanogaster*

Линии дрозофил	Количество вылетевших мух	♀	♂	Процентное соотношение ♀/♂	Соотношение ♀/♂	χ^2	Разница в %
контроль							
<i>K-c</i>	257±2,2	132	125	51,4/48,6	1/1	0,18	2,8
<i>w</i>	250±4,1	130	120	52,0/48,0	1/1	0,40	4,0
<i>e</i>	227±3,6	115	112	50,6/49,4	1/1	0,02	1,2
<i>y</i>	244±5,0	130	114	53,2/46,8	1/1	1,04	6,4
<i>B</i>	234±2,0	120	114	51,3/48,7	1/1	0,14	2,6
<i>m-5</i>	131±2,5	71	60	54,2/45,8	1/1	0,92	8,4

cn	237±4,2	121	116	51,1/48,9	1/1	0,10	2,2
vg	242±4,0	124	118	51,2/48,8	1/1	0,14	2,4
w ^a	228±4,1	117	111	51,3/48,7	1/1	0,14	2,6
ОПЫТ							
К-с	193±5,0	121	72	62,6/37,4	1,3/0,7	12,44	25,2
w	195±4,3	131	64	67,2/32,8	1,4/0,6	23,02	34,4
e	150±4,0	94	56	62,7/37,3	1,3/0,7	9,62	25,4
y	182±8,7	116	66	63,7/36,3	1,3/0,7	13,72	27,4
B	167±4,2	106	61	63,4/36,6	1,3/0,7	12,12	26,8
m-5	86±5,0	59	27	68,6/31,4	1,4/0,6	11,90	37,2
cn	143±6,7	90	53	63,0/37,0	1,3/0,7	9,56	26,0
vg	175±4,6	113	62	64,6/35,4	1,3/0,7	14,68	29,2
w ^a	140±5,4	89	51	63,5/36,5	1,3/0,7	10,30	27,0

Процентная разница между количеством самок и самцов хорошо прослеживается на рисунке 15.

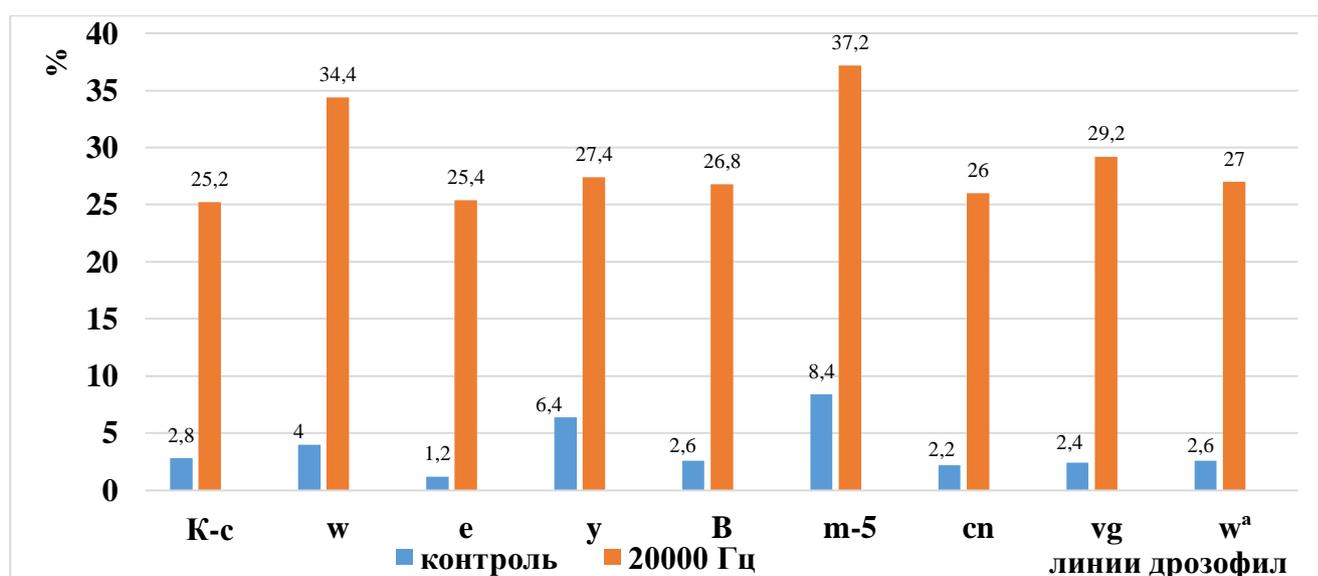


Рисунок 15 - Соотношение полов (♀/♂) у разных линий дрозофил при воздействии ПеМП частотой 20000 Гц по сравнению с контролем (разница в %)

Из рисунка 15 видно, что разница в соотношении полов выше у линий *m-5* – 37,2 %, и *w* – 34,4 %. Высокая разница (в %) наблюдается также у линии *vg* – 29,2% и у линии *y*-27,4 %. Схожие данные отмечены у линий *e* – 25,4 % и *K-c* – 25,2 %.

Из приведенных данных можно заметить, что при облучении линий дрозофил ПемП частотой 20000 Гц наиболее чувствительными по количественному распределению пола оказались линии *m-5* и *w* в отличие от других исследуемых линий дрозофил. А более устойчивой по данному показателю отмечен дикий тип *K-c* и линия *e*, имевшие близкие показатели.

Влияние ПемП разных частот на соотношение полов *Drosophila melanogaster*

Чтобы получить целостное представление о влиянии переменного магнитного поля разных частот на соотношение полов исследуемых линий дрозофил, все полученные нами данные сведены в общую таблицу 12 и 13 и представлены на рисунке 16.

Анализ, приведенных выше результатов, показывает, что включенные в эксперимент дрозофилы, не одинаково реагировали на используемый фактор. Из данных таблицы 12 и 13 видно, что с увеличением частоты ПемП соотношение вылетевших самок и самцов достоверно нарушается. При этом увеличивается число особей женского пола.

Причины изменения соотношения полов могут быть хромосомной природы, что показано для разных видов дрозофил, у которых наблюдаются отклонения в соотношении полов в сторону увеличения количества самок, связанное с факторами, располагающимися в X-хромосоме (такую хромосому называют sex ratio X chromosome – X^{SR}). Такие факторы улучшают способность сперматозоида с X^{SR} - хромосомой оплодотворять яйцеклетку, что собственно и приводит к увеличению количества самок (Cazemajor, 1990; Avis, 1997).

В. И. Федоров с сотрудниками (2012, 2014) считают, что «...изменение

гормонального статуса самок под воздействием излучения целенаправленно влияет на репродуктивную функцию и отражается на экспрессии материнских генов в клетках яйцевой камеры. Облучение влияет на скорость созревания, численность и морфогенетические свойства ооцитов. У насекомых может наступить состояние диапаузы и прекратиться оогенез».

Как считают авторы (Федоров и др., 2012, 2014), «отклонения в динамике вылета имаго от контроля у потомства могут возникать из-за негативного воздействия радиации на процесс оогенеза и созревания ооцитов или на скорость созревания зигот у взрослых самцов».

Также эти авторы предполагают, что «...под действием радиации в некоторых частях зиготы образуется комплекс материнских белков, который мешает экспрессии X-хромосомы в мужских эмбрионах. Такие мужские эмбрионы нежизнеспособны и приводит к отклонению от нормального полового деления в F1».

Таблица 12 - Различия в соотношении полов у линий *Drosophila melanogaster* при облучении ПеМП разных частот

Линии дрозофил	Соотношение полов (♀/ ♂)			
	контроль	8000 Гц	15000 Гц	20000 Гц
К-с	1/1	1/1	1,1/0,9	1,3/0,7
w	1/1	1/1	1,3/0,7	1,4/0,6
e	1/1	1/1	1,1/0,9	1,3/0,7
y	1/1	1/1	1,2/0,8	1,3/0,7
B	1/1	1/1	1,2/0,8	1,3/0,7
m-5	1/1	1/1	1,3/0,7	1,4/0,6
cn	1/1	1/1	1,2/0,8	1,3/0,7
vg	1/1	1/1	1,2/0,8	1,3/0,7

w^a	1/1	1/1	1,2/0,8	1,3/0,7
-------	-----	-----	---------	---------

Таблица 13 - Влияние ПеМП разных частот на соотношение полов ($\text{♀}/\text{♂}$) в % у линий дрозофил в условиях опыта

Линии	Контроль		8000 Гц		15000 Гц		20000 Гц	
	соотношение полов в %	разница в %	соотношение полов в %	разница в %	соотношение полов в %	разница в %	соотношение полов в %	разница в %
К-с	51,4/48,6	2,8	51,0/49,0	2,0	57,3/42,7	14,6	62,6/37,4	25,2
w	52,0/48,0	4,0	52,2/47,8	4,4	63,9/36,1	27,8	67,2/32,8	34,4
e	50,6/49,4	1,2	51,1/48,9	2,2	56,9/43,1	13,8	62,7/37,3	25,4
y	53,2/46,8	6,4	53,2/46,8	6,4	62,0/38,0	24,0	63,7/36,3	27,4
B	51,3/48,7	2,6	51,5/48,5	3,0	62,4/37,6	24,8	63,4/36,6	26,8
m-5	54,2/45,8	8,4	54,8/45,2	9,6	65,2/34,8	30,4	68,6/31,4	37,2
cn	51,1/48,9	2,2	51,3/48,7	2,6	59,3/40,7	18,6	63,0/37,0	26,0
vg	51,2/48,8	2,4	51,7/48,3	3,4	60,4/39,6	20,8	64,6/35,4	29,2
w ^a	51,3/48,7	2,6	52,0/48,0	4,0	59,7/40,3	19,4	63,5/36,5	27,0

Из данных таблицы 12 видно, что в контроле и при воздействии на линии дрозофил ПеМП частотой 8000 Гц разница между количеством самок и самцов незначительна и их соотношение составляет 1/1. Затем, при использовании ПеМП частотой 15000 Гц, некоторые линии уже оказываются чувствительными к данному фактору. В этом опытном варианте наибольшее смещение в сторону особей женского пола наблюдалось у линий *m-5* и *w*, где соотношение полов составило 1,3/1. А у линии дикого типа *K-c* и линии *e* соотношение полов составило 1,1/0,9. У остальных линий 1,2/0,8.

Увеличение частоты ПеМП до 20000 Гц оказывает более существенное влияние на количественное соотношение полов у исследуемых линий дрозофил. Как и в предыдущем эксперименте, более чувствительными оказались линии *m-5* и *w*, где соотношение полов было 1,4/0,6. У остальных линий этот показатель равнялся 1,3/0,7.

В таблице 13, в которой показано процентное соотношение полов и разница (в %) между количеством вылетевших самок и самцов, видно, что облучение мух ПеМП частотой 8000 Гц дает незначительный разрыв между количеством самок и количеством самцов и их разница дает аналогичный показатель с контрольным вариантом. При увеличении частоты переменного магнитного поля соотношение самок и самцов нарушается за счет количественного преобладания особей женского пола (рисунок 16).

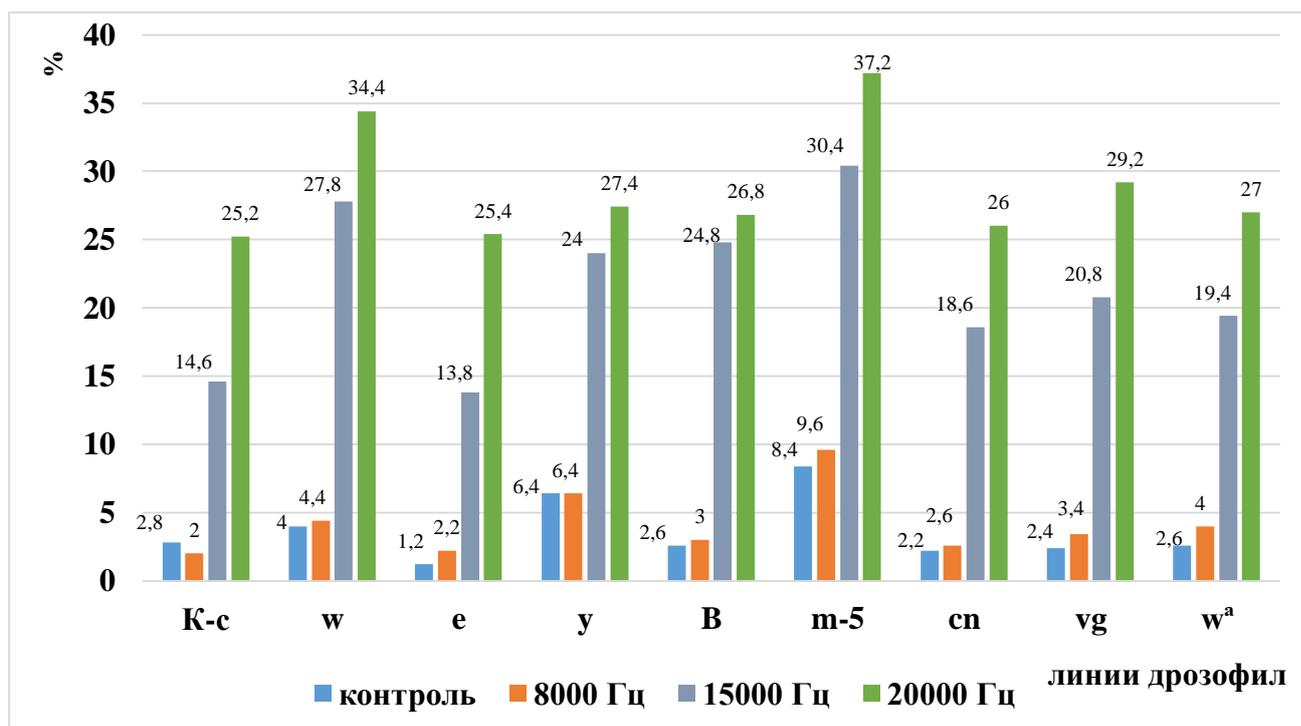


Рисунок 16 - Соотношение полов (♀/♂) у разных линий дрозофил при воздействии ПеМП разных частот (разница в %)

Таким образом, на основании данных, полученных нами, при облучении исследуемых линий дрозофил ПеМП разных частот, можно сделать следующее заключение:

1. в контрольном варианте, как и при частоте ПеМП 8000 Гц, нами не отмечено отклонений в распределении полов от теоретически ожидаемого, что соответствует 1/1;
2. увеличение частоты действия ПеМП приводит к изменению соотношения полов. Достоверно увеличивается число особей женского пола, при этом наблюдаются различия, определяемые генотипом линий;
3. из анализирующихся генотипов наиболее чувствительными к магнитному воздействию оказались линии *m-5* и *w*, а наиболее устойчивыми линии *K-c* и *e*.

3.5 Влияние ПемП разных частот на морфологические признаки

Drosophila melanogaster

Наряду с репродуктивными свойствами и соотношением полов у дрозофилы, а также с изменением этих признаков под воздействием ПемП разных частот, большой интерес представляют результаты исследования по наличию в потомстве от облученных родителей морфологических нарушений. Особый интерес при этом представляют данные по реакции на внешнее воздействие различных генотипов. Следует подчеркнуть, что учеными давно установлен факт нарушения фенотипических признаков, которые являются в конечном итоге реализацией генотипических свойств. При совершенно одинаковых генотипах два организма могут быть фенотипически не схожими, если они в процессе развития находились в неодинаковых условиях: питания, температуры, влажности и других внешних воздействий. Установлено, что такие фенотипические приобретения следующему поколению не передаются. Как указывает Н.Ф. Жимулев, К. Негели еще в 1884 г. их назвал модификациями. Модификации свидетельствуют о том, что развитие живых систем определяется не только генотипом, но и влиянием внешней среды, т.е. происходит реакция на воздействующий фактор и фенотип может меняться при сохранении генотипа.

В литературе приводится много примеров такой реакции. Например, в сельскохозяйственном производстве при установлении агротехнических приемов возделывания сельскохозяйственных культур широко пользуются сортами или гибридными модификациями. Кормление животных различных пород основывается на способности модифицирования тех или иных признаков в сторону улучшения. С.М. Гершензон (1983) в работе “Основы современной генетики” описывает модификации, и среди них многие не имеют приспособительного характера и нередко представляют даже настоящие уродства, если они вызываются

экспериментальными воздействиями, с которыми организм не часто сталкивается в природе. Полученные таким образом модификации называют морфозами или же фенкопием.

В результате проведенных экспериментов, воздействия электромагнитных излучений на дрозофил в различных стадиях развития, были получены разнообразные морфологические изменения, зависящие от интенсивности воздействующего на них факторов, а также от стадии развития организма. Как правило, следующему поколению такие морфозы не передаются. В своей работе Б.М. Медников (1975) описывает эксперимент И.А. Рапопорта, где в питательную среду добавлялись химические вещества. Оказалось, что при добавлении соли серебра в корм исследуемых дрозофил, все вылетевшие имаго получались желтожелтыми, а мутация безглазости получалась при добавлении солей бора. Б.М. Медников, также экспериментировал влияние антибиотика актиномицина на дрозофил. Как известно, синтез РНК замедляется при присоединении к молекуле ДНК актиномицина. В результате были получены такие морфозы как укороченные крылья, бескрылые мухи, миниатюрные или же гигантские мухи, или с коротким телом. Как пишет автор, это были морфозы, т.е. фенкопии. Вместе с тем, например, в генетическом словаре указывается, что разнообразие морфозов связано с определенным циклом эмбрионального развития живых систем.

Таким образом, модификации не связаны с изменениями генотипа в характере проявления одного и того же признака под влиянием меняющихся условий внешней среды. При этом изменение фенотипа может быть различным из-за воздействия того или иного фактора в чувствительный или модификационный периоды в развитии определенного признака.

В доступной научной литературе мы не находили данных по изучению влияния ПемП разных частот на морфологические признаки выбранных нами линий дрозофил. В проведенных нами экспериментах мы получили результаты, свидетельствующие о влиянии используемых частот ПемП

не только на индивидуальное развитие, плодовитость и соотношение полов, но и на морфологические признаки дрозофилы.

В наших опытах, при просмотре всех вылетевших мух дрозофил в контрольном варианте, а также при облучении ПеМП частотой 8000 Гц, из просмотренного числа мух, нами не отмечено ни одной особи с изменениями морфологических признаков.

Ниже приведены данные, характеризующие те частоты ПеМП, при которых были получены различные морфологические изменения. Как указано в методике, морфологические изменения было рассчитано на 1000 мух.

При воздействии на выбранные линии дрозофил ПеМП частотой 15000 Гц, мы заметили такие изменения морфологических признаков, как не расправленные крылья, длинные и загнутые, а также оттопыренные и сморщенные (рисунок 17).



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10

11

12

Рисунок 17 - Морфологические изменения крыла при облучении мух дрозофил ПеМП частотой 15000 Гц

1, 2, 3 – не расправленные загнутые крылья; 4, 5, 6 - сморщенные крылья;
7, 8, 9 – оттопыренные крылья; 10, 11, 12 - длинные крылья

Например, у линии *m-5* мы отметили наибольший процент числа морфологических изменений. Общее количество мух с таким морфозом, как сморщенность крыльев в этой линии составило -32, а с оттопыренными крыльями -39. Наибольшее число мух со сморщенными крыльями также наблюдалось у линии *y*. Такое же изменение появилось и у линий *B* и *w*. Далее, как и у линии *m-5*, нами отмечено оттопыренность крыльев еще и у линий *w^a* (зафиксирован только этот тип морфоза), *B* и *y*. У линии *vg* также наблюдалось большое количество мух с длинными крыльями. Этот вид морфоза отмечен только в этой линии. Загнутые крылья появились у мух линии *K-c*. Это изменение также наблюдалось только у этой линии. В этом опыте не наблюдалось изменений в морфологии мух у линий *e* и *sn* (таблица 14).

Таблица 14 - Морфозы, наблюдаемые у *Drosophila melanogaster* при облучении ПеМП частотой 15000 Гц (на 1000 мух)

Линии дрозофил	Наблюдаемые морфозы	Всего мух с морфозами	Число морфологических изменений (в %)
К-с	не расправленные, загнутые крылья	8	1
w	сморщенные крылья	5	1
у	сморщенные крылья	14	2
	оттопыренные крылья	4	
В	сморщенные крылья	7	1
	оттопыренные крылья	4	
m-5	сморщенные крылья	32	7
	оттопыренные крылья	39	
w ^a	оттопыренные крылья	5	1
vg	длинные крылья	25	2
e	-	-	-
sp	-	-	-

В этом опытном варианте самой чувствительной оказалась линия - *m-5*, а устойчивыми к действию ПеМП частотой 15000 Гц - линии *e* и *sp*.

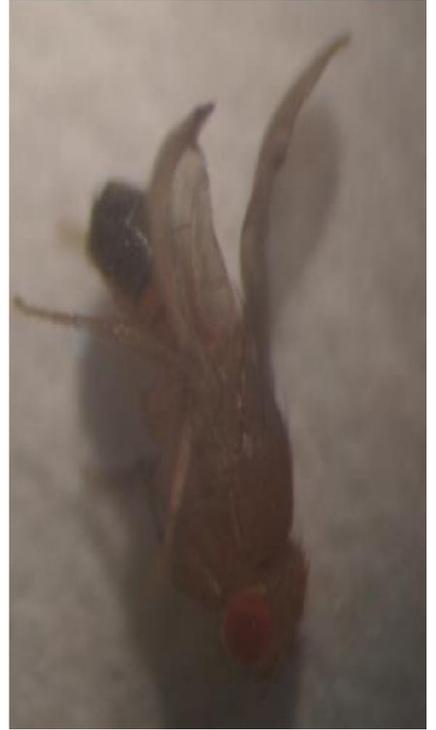
При возрастании частоты ПеМП до 20000 Гц мы зафиксировали увеличение числа морфологических изменений у изучаемых линий дрозофил, а также, помимо ранее перечисленных морфозов, появились новые отклонения в морфологии крыльев мух (рисунок 18).



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14



15



16



17



18



19



20



21



22



23



24



25



26



27



28



29



30

Рисунок 18 - Морфологические изменения крыла при облучении мух дрозофил ПеМП частотой 20000 Гц

1-8 – загнутые крылья; 9-12 – недоразвитые крылья; 13-16 – оттопыренные крылья; 17-19 – сморщенные крылья; 20-23 - длинные крылья; 24, 25 – закрученные крылья; 26-30 – крылья разной длины.

Как и в предыдущем опытном варианте, наибольшее число морфологических изменений отмечено у линии *m-5*. Всего мух с таким изменением, как оттопыренность крыльев в этой линии было 81, а со сморщенными крыльями оказалось -53, что составило 14% всего морфологических изменений. Большое количество мух с оттопыренными крыльями отмечено также и у линии *K-c* – 41. За этой линией по количеству этого признака следует линия *y*- 30, у линии *B* -22. У линии *e*, которая оказалась устойчивой к действию ПемП частотой 8000 Гц и не обнаружили морфозов, появились в этом опытном варианте мухи с оттопыренными крыльями-18. У этой линии также отметили и сморщенность крыльев-23. Сморщенные и оттопыренные крылья наблюдали еще и у линии *sn*, где не было обнаружено никаких морфологических изменений в предыдущем опыте. После линии *m-5*, наибольший процент числа морфологических изменений наблюдается у линии *K-c* -10 %. У этой линии число мух со сморщенными крыльями было 15, с оттопыренными - 41 и с новым морфозом, как загнутые, недоразвитые крылья - 43. Новые морфологические изменения появились и у линии *vg*, такие как закрученные крылья - 8 и крылья разной длины - 19. Процент числа морфологических изменений составил 5%. Самый низкий процент числа морфологических изменений отметили у линии *w* -1 %. Здесь мы обнаружили мухи с оттопыренными крыльями -12 и со сморщенными - 2 (таблица 15).

Таблица 15 - Морфозы, наблюдаемые у *Drosophila melanogaster* при воздействии ПемП частотой 20000 Гц

Линии дрозофил	Наблюдаемые морфозы	Всего мух с морфозами	Число морфологических изменений (в %)
К-с	загнутые и недоразвитые крылья	43	10
	сморщенные крылья	15	

	оттопыренные крылья	41	
w	сморщенные крылья	2	1
	оттопыренные крылья	12	
e	сморщенные крылья	23	4
	оттопыренные крылья	18	
y	сморщенные крылья	3	3
	оттопыренные крылья	30	
B	сморщенные крылья	11	3
	оттопыренные крылья	22	
m-5	сморщенные крылья	53	14
	оттопыренные крылья	81	
cp	сморщенные крылья	17	3
	оттопыренные крылья	15	
w ^a	сморщенные крылья	14	3
	оттопыренные крылья	15	
vg	длинные крылья	22	5
	закрученные крылья	8	
	крылья разной длины	19	

Исходя из результатов анализа, можем сказать, что ПеМП разных частот вызывает морфологические изменения у исследуемых линий дрозофил, и реакция на такое воздействие зависит от генотипических свойств. При этом нами отмечена разница не только по качеству возникших морфологических изменений, но и по их количеству. Если суммировать мух со всеми морфологическими изменениями по каждой исследуемой линии для каждой отдельной частоты, то замечаем, что более чувствительной к воздействию ПеМП явилась линия *m-5*, у которой при частоте ПеМП 15000 Гц процент изменений составил 7 %, а с увеличением частоты до 20000 Гц он вырос до 14 %, т.е. увеличился в 2 раза (таблица 16). Менее же чувствительной линией оказалась *w* (1 %).

Таблица 16 - Морфологические изменения, наблюдаемые у линий дрозофил при облучении ПеМП частотой 15000 Гц и 20000 Гц

Линии дрозофил	Используемые частоты	Всего мух с морфологическими изменениями	Процент морфологических изменений
К-с	15000 Гц	8	1
	20000 Гц	99	10
w	15000 Гц	5	1
	20000 Гц	14	1
e	15000 Гц	-	-
	20000 Гц	41	4
y	15000 Гц	18	2
	20000 Гц	33	3
B	15000 Гц	11	1
	20000 Гц	33	3
m-5	15000 Гц	44	7
	20000 Гц	134	14
cn	15000 Гц	-	-
	20000 Гц	32	3
w ^a	15000 Гц	5	1
	20000 Гц	29	3
vg	15000 Гц	25	2
	20000 Гц	49	5

Для наглядной демонстрации приведенных данных построена диаграмма (рисунок 19), где изображен процент морфологических изменений у исследуемых линий.

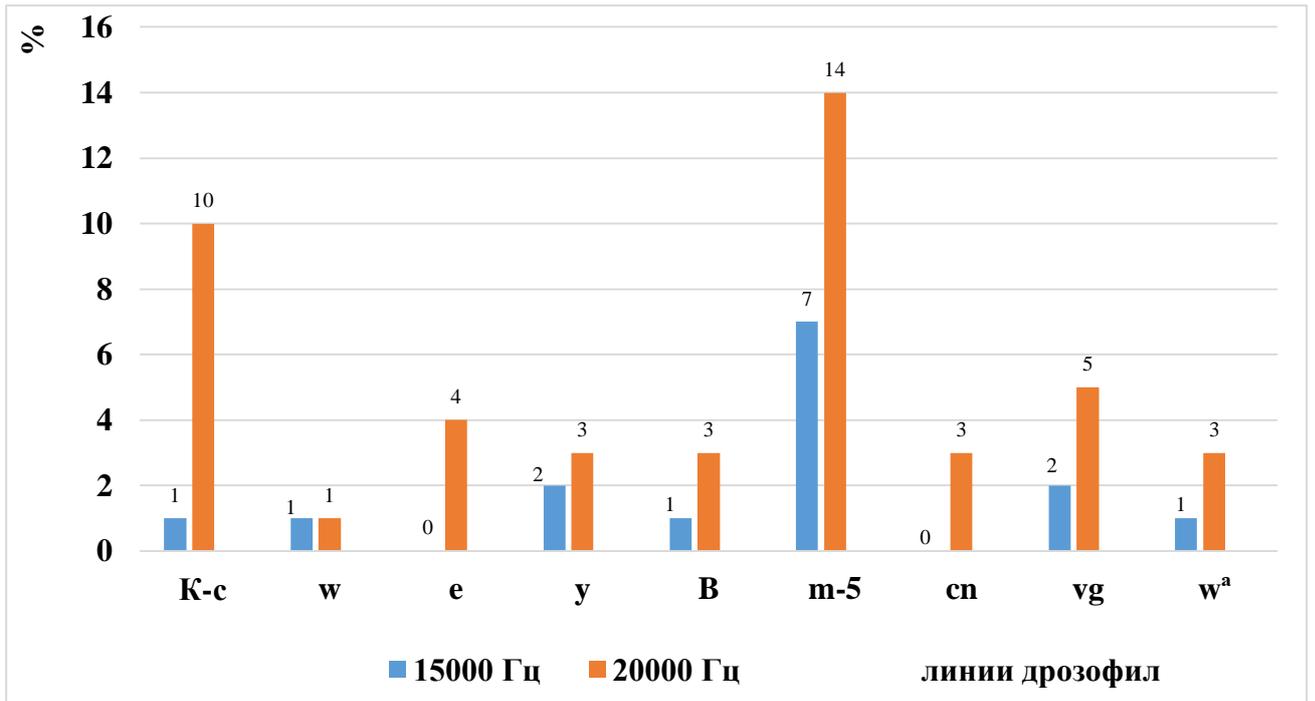


Рисунок 19 - Обобщенные данные по влиянию ПеМП частотой 15000 Гц и 20000 Гц на морфологические изменения у различных линий дрозофил в условиях опыта

Таким образом, как и в предыдущих экспериментах по выявлению влияния ПеМП разных частот на разные показатели дрозофил, здесь также наблюдается увеличение числа морфологических изменений при увеличении частоты ПеМП.

ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАЗНЫХ ЧАСТОТ НА БИОРЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ *SOLANUM TUBEROSUM*

Использование различных физических факторов для обработки семян растений перед посевом, для ускорения развития растений на ранней стадии онтогенеза и улучшения посевных качеств семян, может значительно повысить биоресурсный потенциал растения.

Первоначально обработанные растения могут конкурировать с необработанными растениями по ряду параметров, таких как всхожесть, энергия прорастания, развитие корневой системы, высота растения, урожайность и т.д.

Также после предпосадочной обработки растений может наблюдаться подавление жизнеспособности патогенных микроорганизмов, пагубно влияющих на дальнейшее развитие растений, в результате чего повышается продуктивность сельскохозяйственных культур.

Исходя из этого, можно сказать, что использование физических факторов для предпосевной обработки способствует полной реализации генетического потенциала растений.

Однако, следует отметить, что этот метод не получил широкого распространения в сельском хозяйстве, т.к. недостаточно изучены механизмы такого воздействия на биохимических, биофизических и генетических уровнях, а также достаточно сложным процессом подбора оптимального режима воздействия. Исходя из этого, нам представляется особенно перспективным изучение влияния переменного магнитного поля разных частот на продуктивный потенциал картофеля.

4.1 Влияние ПемП разных частот на всхожесть клубней картофеля в условиях КБР

Весной клубни картофеля без предпосадочной подготовки начинают прорастать через 10 - 12 дней после посадки. Всходы появляются на поверхности земли еще через 14 - 16 дней. Таким образом, от посадки клубней до появления всходов проходит 24 - 28 дней, а у ранних сортов при оптимальных условиях первые всходы появляются уже на 10-15 день после посадки.

В нашем опытном варианте для оценки воздействия ПемП разных частот на всхожесть клубней картофеля использовали раннеспелый сорт картофеля «Удача» и среднеспелый сорт картофеля «Нарт-1», как описывалось в методике. Эксперименты проводили в трехкратной повторности с применением ПемП частотой 8000 Гц, 15000 Гц и 20000 Гц и временем облучения 24 ч. Контролем служили необлученные клубни картофеля. Облучение клубней картофеля проводили за 3 дня до посадки. Клубни выбирали правильной формы без видимых повреждений. Для быстрой всхожести облученные клубни и контрольный вариант картофеля сажали неглубоко, в верхние слои почвы. Наиболее благоприятной температурой для появления всходов считается 18 – 20 °С. Всходы в этом случае появляются на 10-12-й день после посадки. Учет всходов картофеля сорта «Удача» в наших опытах проводили с 12 по 17 день после высева, и с 16 по 21 день для сорта «Нарт-1».

В поставленном нами контрольном варианте эксперимента, всхожесть клубней картофеля сорта «Удача» на 12 день составила $11,6 \pm 2,0$ % от общего количества посаженных клубней (таблица 17, рисунок 20). Всхожесть половины посаженного материала наблюдали на 15 день после посадки ($51,6 \pm 2,8$ %), и наибольший процент всходов на 17 день - $81,7 \pm 5,4$ %. Всхожесть клубней картофеля сорта «Нарт-1» в контрольном варианте наблюдали с 16 дня после посадки и равнялась $8,6 \pm 2,6$ % (таблица 17, рисунок 21). На 21 день после посадки всхожесть была максимальной - $83,9 \pm 2,8$ %.

Таблица 17 - Всхожесть клубней картофеля при применении ПеМП разных частот

Вариант	Контроль	8000 Гц	15000 Гц	20000 Гц	
сорт «Удача»					
Всхожесть в зависимости от количества дней, %	12	11,6±2,0	10,0±2,8	33,4±2,0	36,7±5,4*
	13	26,7±2,0	28,2±2,8	43,4±4,0*	45,0±3,5*
	14	31,7±2,0	30,0±5,7	46,7±5,4*	49,3±4,0*
	15	51,6±2,8	50,0±8,6	74,8±2,0*	76,7±2,0*
	16	71,6±2,0	71,2±2,8	85,0±3,5	88,3±2,0*
	17	81,7±5,4	82,5±2,8	96,7±2,0*	98,3±2,0*
	сорт «Нарт-1»				
	16	8,6±2,6	9,3±2,8	35,6±2,0*	38,4±4,0*
	17	12,4±2,0	13,5±2,8	46,2±2,8*	49,7±2,8*
	18	34,2±2,6	32,8±5,4	54,5±5,4*	58,3±2,0*
	19	68,6±2,0	71,4±2,6	76,7±2,8*	81,2±2,6*
	20	79,7±2,6	80,6±2,6	89,2±2,0*	92,6±2,0*
	21	83,9±2,8	84,7±5,6	95,8±2,0*	98,5±2,0*

Примечание. Здесь и далее: * различие достоверно по сравнению с контролем при $p < 0,05$

При применении ПеМП частотой 8000 Гц мы не наблюдали существенных изменений во всхожести клубней картофеля по сравнению с контрольным вариантом.

Из таблицы 17 видно, что на 12 день после посадки, всхожесть клубней сорта «Удача» при ПеМП частотой 8000 Гц меньше контрольного на 1,6 % и увеличивается на 1,5 % на 13 день. Также на 14 день в данном опыте всхожесть уменьшается на 1,7 % по сравнению с контролем и на 1,6 % на 15 день. На 17 день всхожесть составила 82,5±2,8 % от общего количества посаженных клубней картофеля (рисунок 20).

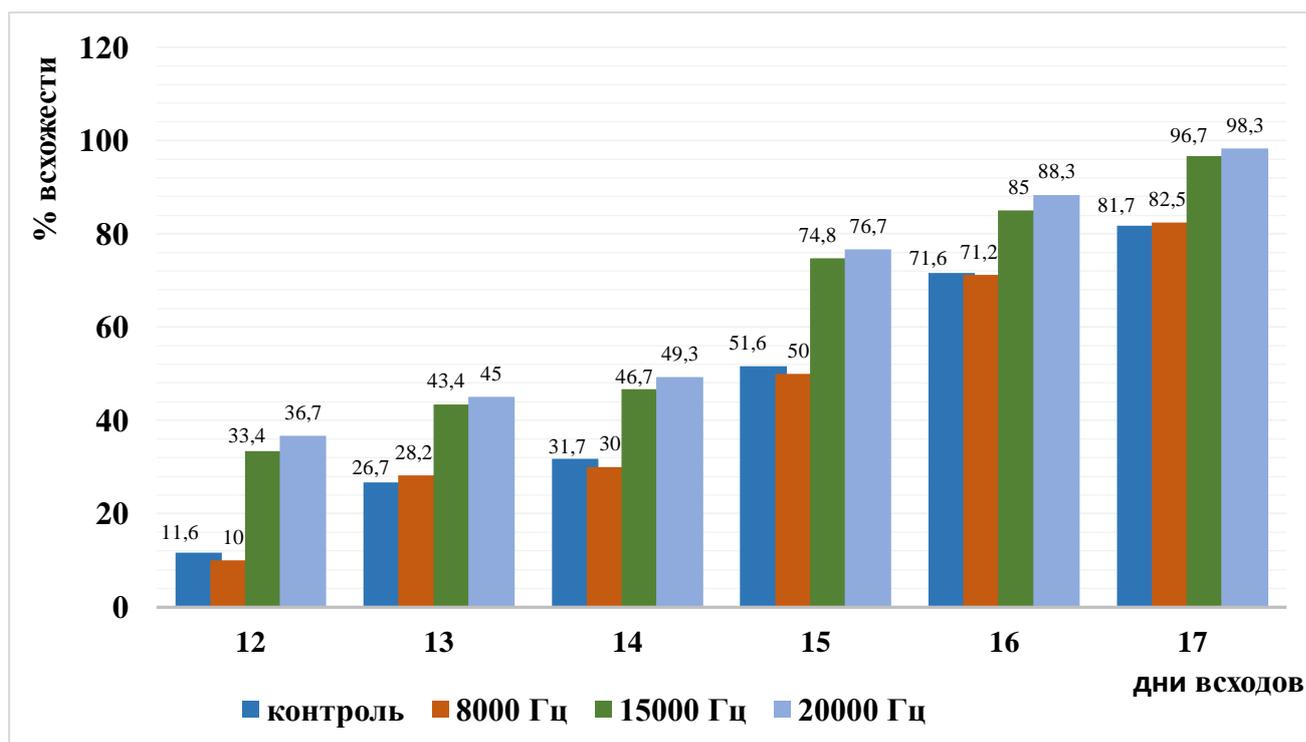


Рисунок 20 - Всхожесть клубней картофеля сорта «Удача» при применении ПеМП разных частот

При предпосевной обработке клубней картофеля сорта «Нарт-1» ПеМП частотой 8000 Гц не наблюдалась существенной разницы во всхожести от контроля на 16 день после посева. Лишь на 19 день отмечали наибольшее увеличение всхожести по сравнению с контрольным – на 2,8 %. На 21 день после посадки, всхожесть клубней составила в контроле $83,9 \pm 2,8$ %, а при применении ПеМП частотой 8000 Гц - $84,7 \pm 5,6$ % (рисунок 21).

В этом опыте мы не наблюдаем существенной разницы во всхожести клубней сорта «Удача» и «Нарт-1» по сравнению с контрольным вариантом.

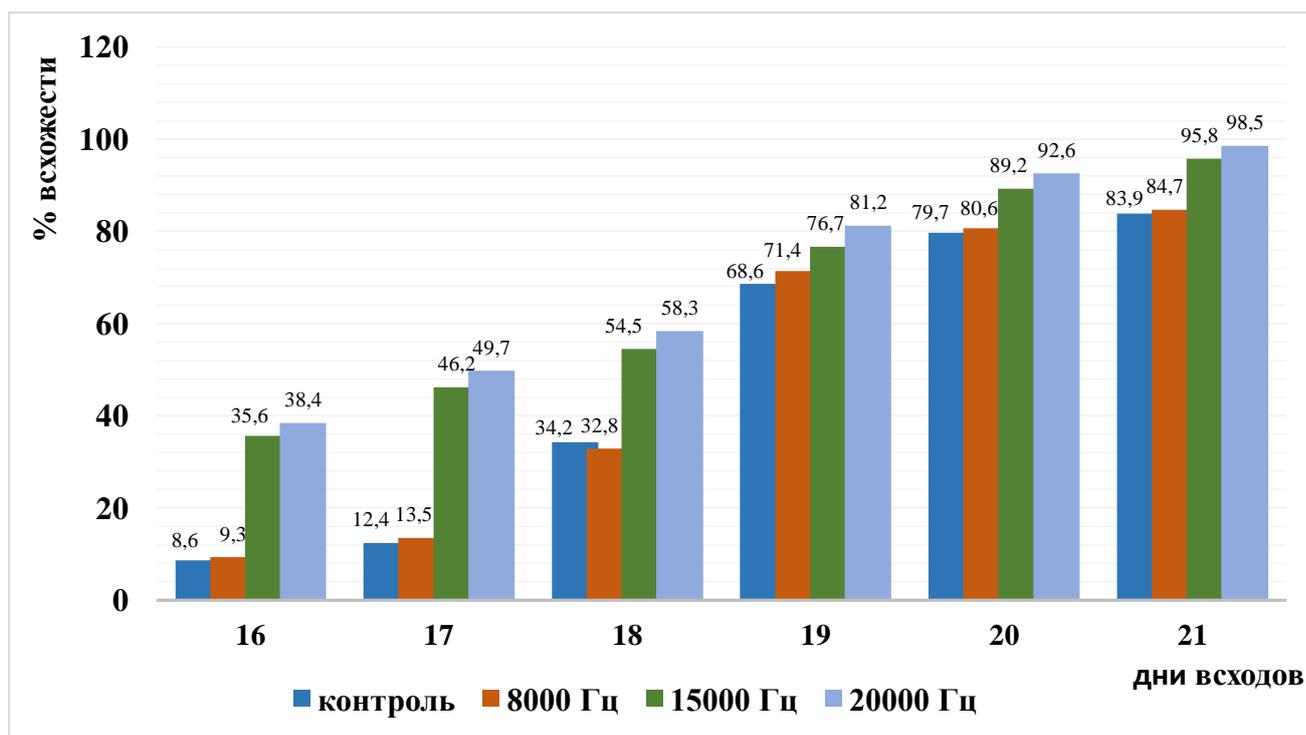


Рисунок 21- Всхожесть клубней картофеля сорта «Нарт-1» при применении ПеМП разных частот

При применении ПеМП частотой 15000 Гц наблюдается достоверное увеличение всхожести клубней картофеля сортов «Удача» и «Нарт-1» по сравнению с контролем.

На 12 день после посадки картофеля сорта «Удача» при частоте магнитного поля 15000 Гц происходит увеличение всхожести клубней на 21,8 %. Наибольшее увеличение всхожести (на 23,2 %) по сравнению с контролем наблюдается на 15 день после посева при частоте ПеМП 15000 Гц. А на 17 день в данном опыте всхожесть картофеля составила $96,7 \pm 2,0$ % от общего количества посаженных клубней картофеля. В контрольном варианте данный показатель составил $81,7 \pm 5,4$ %, т.е. использование ПеМП частотой 15000 Гц увеличила всхожесть данного сорта на 15,0 %.

Предпосадочная обработка клубней картофеля сорта «Нарт-1» ПеМП частотой 15000 Гц также увеличила всхожесть клубней. Наибольшая разница в сравнении с контролем наблюдалась на 17 день всходов - 33,8 %. В целом,

применение ПеМП частотой 15000 Гц повысило всхожесть клубней картофеля данного сорта по сравнению с контрольным вариантом на 11,9 %.

При частоте облучения 20000 Гц как и в предыдущем опытном варианте (ПеМП частотой 15000 Гц) наибольшее увеличение всхожести клубней картофеля сорта «Удача» отмечали на 15 день после посева. Всхожесть клубней составила $76,7 \pm 2,0$ %, а в контроле – $51,6 \pm 2,8$ %. На 17 день всхожесть увеличилась до $98,3 \pm 2,0$ %, что на 1,6 % выше, чем при использовании ПеМП частотой 15000 Гц и на 16,6 % чем в контрольном варианте.

Также в данном опыте наблюдаем увеличение всхожести сорта «Нарт-1» по сравнению с контролем. На 17 день после посева отмечали наибольшую разницу увеличения всхожести по сравнению с контролем (37,3 %). Полные всходы наблюдали на 21 день - $98,5 \pm 2,0$ %, что на 14,6 % выше контроля.

Таким образом, предпосадочная обработка клубней картофеля ПеМП разных частот оказывает достоверное положительное влияние на всхожесть раннеспелого и среднеспелого сорта картофеля.

Полученные данные согласуются с результатами некоторых авторов (Корнева, 2009; Янчевская и др. 2015; Тихонов, 2016 и др.), по влиянию предпосадочной обработки клубней картофеля на ее различные показатели.

Так, например, по результатам Н.В. Стацюк (2016), энергия прорастания БСК увеличивается на 15-18 % при предпосадочной обработке ИНЭП в течение 1-3 или 9 ч, а их всхожесть в лабораторных условиях – на 10-16 %.

Аналогичную тенденцию отмечали и другие исследователи на некоторых других сельскохозяйственных культурах.

Например, В.А. Савельев (1983) отметил, что после воздействия постоянного магнитного поля с индукцией 1Тл на семена пшеницы, их всхожесть увеличивается.

С.Н. Маслоброд с коллегами (2010) проводили опыты по изучению влияния ЭМП миллиметрового диапазона (5, 6 мм, 2, 4, 6, 8, 10 –экспозиции ЭМП в мин) на всхожесть семян различных растений. Наблюдалось повышение всхожести по

сравнению с контролем от 27 до 300 %. При влиянии миллиметровым излучением разной экспозиции на сухие семена, стимуляционные экспозиции отмечены для томата - 2, 6 и 8 мин, для лука - 2,8 и 10 мин, для табака - 4 и 12 мин, для семян клещевины - 2, 8 мин.

Т.А. Ходжаевым (2014) показано, что при воздействии малыми дозами нейтронного облучения на семена пшеницы, увеличивается энергия прорастания и их всхожесть.

Также в работе М.Х. Урусбиевой в соавторстве с Э.М. Гидовой и Т.Х. Хандоховым (2016) показано, что облучение сухих семян пшеницы переменным магнитным полем в условиях опыта ведёт к повышению как энергии прорастания, так и всхожести. Было использовано магнитное поле мощностью 50 мА/м и временем экспозиции – 30, 90 и 120 мин. Митотическая активность клеток меристемы корня, а также интенсивность ростовых процессов в опытных вариантах были выше контрольных показателей при экспозиции 120 мин.

Относительно механизмов действия физических факторов на растения существует разные гипотезы. Как считает Е.И. Важенин с коллегами (2013), взаимодействие электромагнитного поля и биоматериала может быть выражено изменением свойств свободной и связанной воды, поляризацией макромолекул и взаимодействием различных резонансов. По мнению автора, развитие аномальных эффектов, влияющих на рН цитоплазмы, а в дальнейшем и на локализацию периферических белков мембраны, происходит в результате движения ионов в клеточной среде при воздействии электромагнитного поля на биоматериал. В этом случае периферические белки мембран переходят из связанного в свободное состояние и действуют как регуляторы различных этапов реализации генетической программы развития семян растений (Важенин и др., 2013).

4.2 Влияние ПеМП разных частот на биометрические показатели картофеля

Целью данного исследования была оценка эффекта предпосадочной обработки клубней картофеля ПеМП разных частот на такие биометрические показатели как высота растения, количество стеблей, количество клубней и их общий вес.

Полученные результаты представлены в таблице 18 и на рисунках 22, 23, 24, 25.

Таблица 18 – Биометрические показатели картофеля при предпосевной обработке клубней ПеМП разных частот

Вариант	Высота растений, см	Количество стеблей шт./куст	Количество клубней шт./куст	Общий вес клубней г/куст
сорт «Удача»				
контроль	42,6±1,5	4,8±0,4	10,2±1,4	893±76,8
8000 Гц	43,1±1,2	5,0±0,6	11,4±1,2	976±17,6
15000 Гц	43,4±1,6	6,1±0,3*	15,8±1,8*	1215±19,1*
20000 Гц	43,7±1,9	7,6±0,6*	18,4±1,4*	1482±43,2*
сорт «Нарт-1»				
контроль	57,8±1,2	4,3±0,6	7,1±1,2	608±21,1
8000 Гц	58,6±1,9	4,5±0,6	7,3±0,9	691±24,2
15000 Гц	59,0±1,2	5,4±0,6	10,8±0,6*	882±14,4*
20000 Гц	59,7±1,6	6,6±0,3*	12,6±1,6*	976±16,7*

Из данных таблицы 18 видно, что предпосадочная обработка клубней раннеспелого и среднеспелого сортов картофеля ПеМП разных частот оказывает

положительное влияние на ее биометрические показатели.

Влияние предпосадочной обработки клубней ПеМП разных частот на изменение высоты растений картофеля по полученным данным оказалось минимально выраженным и наименее достоверным.

При применении ПеМП частотой 8000 Гц, мы не замечаем существенных изменений в исследуемом показателе по сравнению с контрольным необлученным вариантом. У среднеспелого сорта по сравнению с контрольным вариантом высота растений оказалась больше на 0,8 см, а у раннеспелого – на 0,5 см (таблица 18). При повышении частоты ПеМП до 15000 Гц этот показатель составил $59,0 \pm 1,2$ см, когда как в контроле – $57,8 \pm 1,2$ см. Если в контроле высота раннеспелого сорта достигала $42,6 \pm 1,5$ см, то в этом опыте она увеличилась на 0,8 см ($43,4 \pm 1,6$ см), и на 1,1 см ($43,7 \pm 1,9$ см) при применении ПеМП частотой 20000 Гц для предпосадочной обработки клубней картофеля.

Для среднеспелого сорта этот показатель составил при частоте ПеМП 20000 Гц $-59,7 \pm 1,6$ см, что на 1,9 см выше контрольной ($57,8 \pm 1,2$ см).

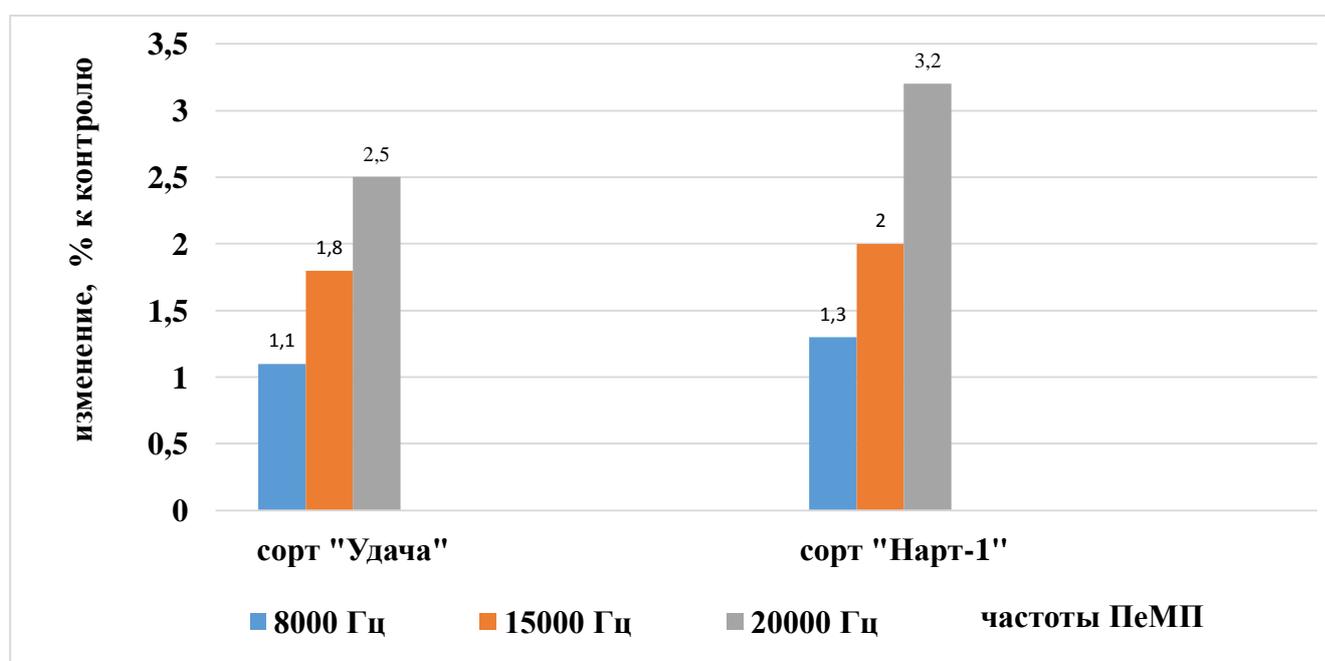


Рисунок 22 - Изменение высоты куста картофеля при предпосадочной обработке клубней ПеМП разных частот (% к контролю)

Из рисунка 22 видим, что при применении наивысшей частоты ПеМП, у раннеспелого сорта высота куста повышается на 2,5 %, а у среднеспелого сорта на 3,2 % в сравнении с контролем. Такое варьирование по сортам объясняется их характерными данными (сортовым признаком), сорт «Удача» средней высоты, а сорт «Нарт-1» более высокое растение.

Таким образом, изучение высоты растений при предпосадочной обработке клубней показало, что с увеличением частоты ПеМП несущественно увеличивается данный показатель у исследуемых сортов.

Количество стеблей в одном кусте – сортовой признак у картофеля. Изучение влияние предпосадочной обработки клубней картофеля ПеМП разных частот показало изменчивость отмеченного признака, который варьирует в зависимости от применяемой частоты и от сорта.

Количество стеблей сорта «Удача» в среднем на один куст составило $4,8 \pm 0,4$ шт. в контроле, а при частоте ПеМП 8000 Гц - $5,0 \pm 0,6$ шт. (таблица 18). Схожую тенденцию наблюдали и для сорта «Нарт-1» - в контроле $4,3 \pm 0,6$ стеблей, и $4,5 \pm 0,6$ при применении ПеМП частотой 8000 Гц. Небольшое увеличение у исследуемых сортов наблюдается при увеличении частоты ПеМП на 15000 Гц. На 1,3 шт. для сорта «Удача», и на 1,1 шт. для сорта «Нарт-1». Далее, при применении ПеМП частотой 20000 Гц количество образованных стеблей раннеспелого сорта увеличивается до $7,6 \pm 0,6$ шт., и до $6,6 \pm 0,3$ шт. у среднеспелого сорта.

Таким образом, в этом опыте отмечаем увеличение количества стеблей в одном кусте картофеля при возрастании частоты ПеМП применяемой для предпосадочной обработки клубней. Наибольший эффект дает ПеМП частотой 20000 Гц – у раннеспелого сорта среднее количество стеблей с куста увеличивается на 58,4 % в сравнении с контрольным вариантом, а у среднеспелого сорта – на 53,4% (рисунок 23).

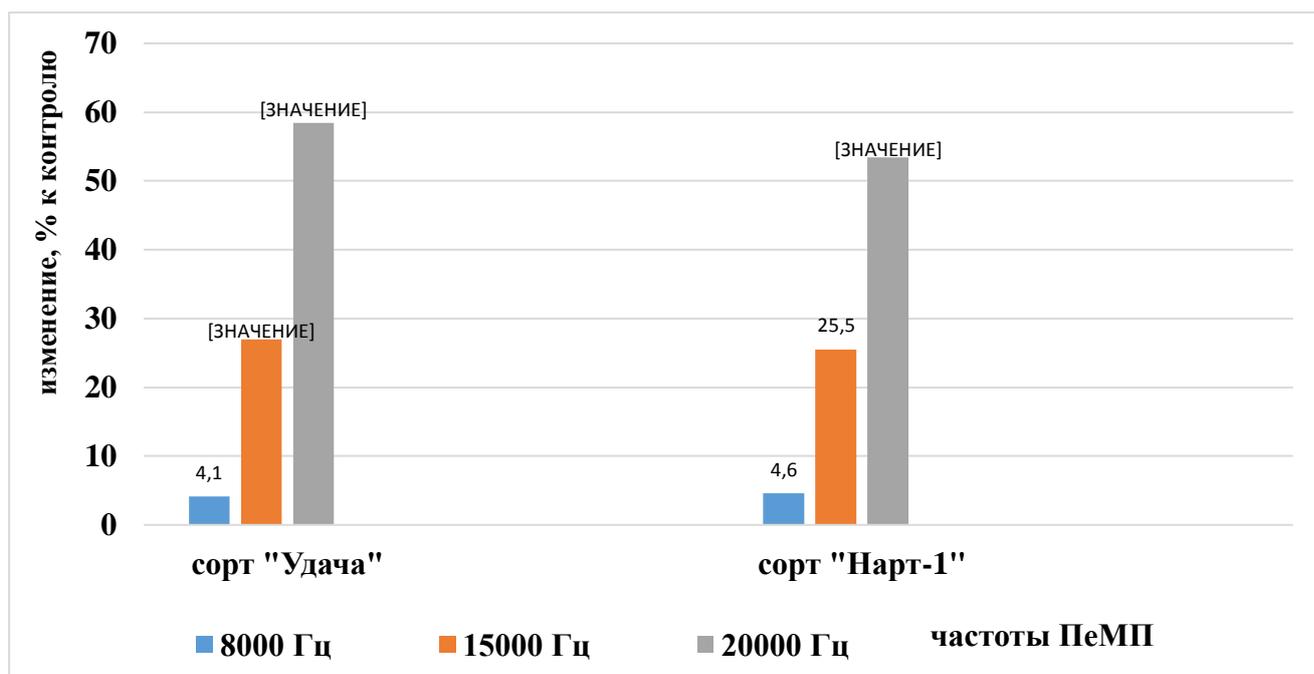


Рисунок 23- Изменение количества стеблей куста картофеля при предпосадочной обработке клубней ПеМП разных частот (% к контролю)

Основными составляющими урожайности растений картофеля являются количество клубней и их продуктивность с одного куста.

В проведенных нами опытах, наблюдали также увеличение количества клубней с одного куста и их общий вес при применении ПеМП разных частот. Количество образовавшихся клубней в контроле у раннеспелого сорта составило $10,2 \pm 1,4$ шт., а среднеспелого сорта $7,1 \pm 1,2$ шт. С увеличением частоты ПеМП отмечали увеличение количества клубней с куста растения исследуемых сортов. Максимальное количество клубней в кусте по сравнению с контролем имел сорт «Удача» при применении ПеМП частотой 20000 Гц. Наблюдалось увеличение данного показателя на 80,3 % у этого сорта в этом опыте, и на 77,4 % у сорта «Нарт-1» (рисунок 24). Отличия являются сортовым признаком. Известно, что сорт «Удача» образует больше клубней (10-15 шт.) в одном кусте, чем сорт «Нарт-1» (7-11шт.), и соответственно масса одного клубня сорта «Удача» составляет - $\approx 100-150$ г, а масса клубня сорта «Нарт-1» - $\approx 68-113$ г.

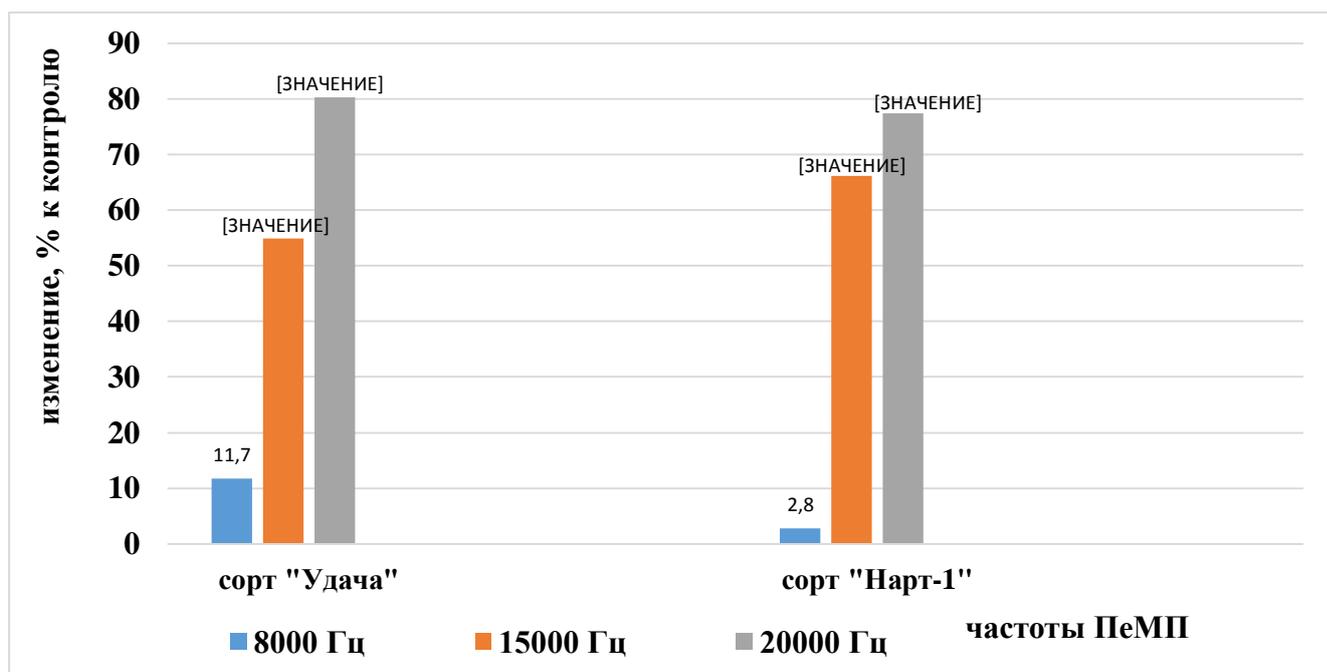


Рисунок 24- Изменение количества клубней картофеля при предпосадочной обработке клубней ПеМП разных частот (% к контролю)

В проведенных нами опытах также отмечено повышение продуктивности клубней с увеличением применяемой частоты ПеМП при предпосадочной обработке клубней. Масса клубней с куста при частоте 8000 Гц у сорта «Удача» составила в среднем $976 \pm 17,6$ г, при контроле $-893 \pm 76,8$ г (9,2 %). С увеличением частоты ПеМП до 15000 Гц масса клубней с куста увеличилась на 36 % и на 65,9 % при частоте ПеМП 20000 Гц по сравнению с контролем (рисунок 25).

Также увеличение продуктивности клубней наблюдалось и у сорта «Нарт-1». Масса клубней с куста возросла на 13,6 % при частоте ПеМП 8000 Гц, на 45 % при частоте ПеМП 15000 Гц, и на 60,5 % при частоте ПеМП 20000 Гц (рисунок 25).

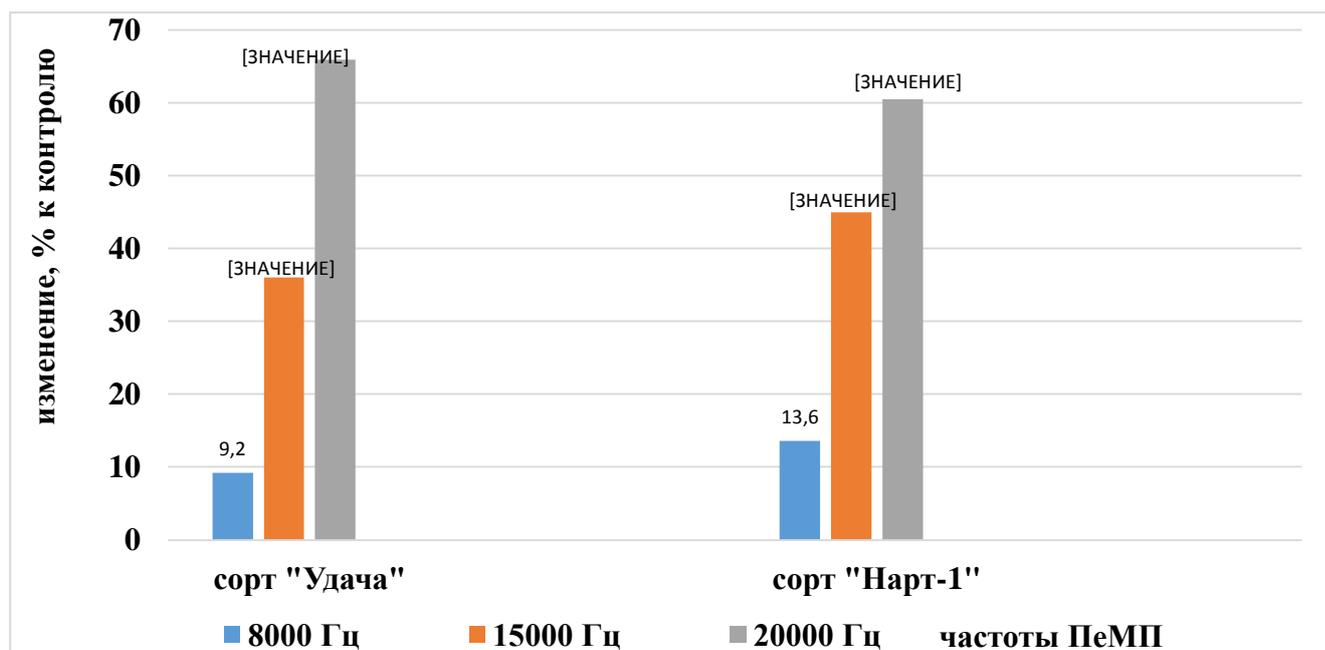


Рисунок 25- Изменение массы клубней картофеля при предпосадочной обработке клубней ПеМП разных частот (% к контролю)

Таким образом, в результате исследования, можем сказать, что обработка клубней картофеля перед посадкой ПеМП разных частот значительно увеличивает биометрические параметры картофеля, такие как количество стеблей, количество сформированных клубней и их общий вес с куста, тем самым увеличивая продуктивный потенциал картофеля. Изменение высоты растений картофеля по усредненным данным оказалось минимально выраженным и наименее достоверным.

Многие исследователи в своих работах отмечают, что магнитное облучение положительно влияет на семена овощных, зерновых и декоративных растений, обеспечивая их дезинфекцию и стимуляцию перед посевом. Это изменяет проницаемость биологических мембран клеток, рН окисления липидов и аденозинтрифосфата (АТФ), что улучшает биосинтетические и биоэнергетические процессы и увеличивает энергетический потенциал семян. Облучение мобилизует скрытые ресурсы в семенах, которые используются для стимулирования роста и развития растений.

Полученные результаты согласуются с результатами некоторых

авторов. Например, Н.Г. Духиной (2016) изучено влияние состава почвенной смеси на биометрические показатели и продуктивность растений при выращивании рассады картофеля перед посадкой в культивационные сооружения. Биометрические показатели растений-регенераторов картофеля увеличивались при выращивании в почвенной смеси, содержащей органику и кокогрунт. Наблюдалось увеличение до 6,1 см -высоты растений, до 5 шт.- количество междоузлий, и до 7 шт. -количество листочков. Самый высокий урожай в опыте отмечено у сорта «Тирас» -2,19 кг/м².

Ю.В. Тертышная и др. (2017) облучали ультрафиолетом длиной волны $\lambda = 365$ нм в течение 5 и 30 мин. семена пшеницы и пришли к выводу, что УФ-излучение положительно влияет на биометрические показатели пшеницы. Наблюдалось максимальное увеличение массы проростков после 30 мин. воздействия и достигала 20 %, а высота проростков возросла после облучения в течение 30 мин. примерно на 30 % и существенно увеличилась длина корней – на 26-60 %.

Н.В. Зубков с сотрудниками (2007) исследовали биометрические параметры развития картофеля при различных концентрациях тяжелых металлов в почве. Внесение минеральных удобрений существенно повлияло на высоту растений картофеля. Отмечено увеличение на 14-18 см в случае загрязнения Zn, на 11-13 см в случае Pb и на 10-12 см в случае Cd. Количество стеблей в кусте увеличивалось в 1,4–1,6 раза при внесении минеральных удобрений как на незагрязненных, так и на загрязненных почвах ТМ. Внесение минеральных удобрений увеличило массу ботвы в среднем в 1,5 раза за 3 года.

Исходя из результатов проведенного эксперимента, можно сделать вывод, что для повышения биоресурсного потенциала многих растений, в частности картофеля, в сельском хозяйстве можно применить такой физический фактор, как ПемП разных частот (8000 Гц, 15000 Гц, 20000 Гц). Однако для наилучшего изучения механизмов влияния такого фактора воздействия, как ПемП, на

растительные объекты, и их последующее использование, следует провести дальнейшее изучение в этом направлении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенные исследования показывают, что ПеМП разных частот влияет на продолжительность жизненного цикла и развитие дрозофил. Наиболее устойчивой к используемому фактору во всех вариантах оказалась линия *w*, а более чувствительной линия *m-5*. Отмечено, что в контрольном варианте и при облучении ПеМП частотой 8000 Гц наибольший вылет мух приходится на 1-ю неделю, а при частоте 15000 Гц и 20000 Гц максимум вылета отмечается на 2-й и 3-й неделе.

Выявлена реальная репродуктивная способность по числу образовавшихся куколок и вылетевших мух. Различия показателей при применении ПеМП частотой 8000 Гц по сравнению с контролем не являлись статистически значимым ($p > 0,05$) и определялись генотипом использованных линий дрозофил. При увеличении частоты ПеМП до 15000 Гц самой чувствительной оказалась линия *sn*, а более устойчивой к действию ПеМП данной частоты линия *y*. После увеличения частоты ПеМП до 20000 Гц минимальный процент не вылетевших мух также наблюдается у линии *y*, как и в предыдущем опыте, а максимальный процент зафиксирован у линий *vg* и *sn*. С увеличением частоты облучения достоверно ($p < 0,01$, $p < 0,001$) снижается плодовитость используемых линий дрозофил.

2. Использование дисперсионного двухфакторного метода анализа данных показало, что генотипический фактор оказывает ведущую роль, а его взаимодействие с частотами ПеМП в условиях опыта оказалось незначительно.

3. Отмечено действие ПеМП указанных частот на соотношение количества самок и самцов. При использовании ПеМП частотой 8000 Гц по сравнению с контролем, отклонений в соотношении полов не наблюдается и равно 1/1. При применении ПеМП частотой 15000 Гц в экспериментируемых линиях дрозофил отмечено достоверное увеличение числа

самок. В основном это наблюдается у линий *m-5* и *w*, где соотношение полов составило 1,3/1. У линии дикого типа *K-c* и линии *e* соотношение полов составило 1,1/0,9. Остальные линии имели 1,2/0,8. При увеличении частоты ПеМП до 20000 Гц наиболее существенный разрыв в соотношении полов по сравнению с первым и вторым вариантами опыта также отмечено у линий *m-5* и *w* - 1,4/0,6. У остальных линий этот показатель равнялся 1,3/0,7.

4. Морфологические изменения у исследованных мух дрозофил зафиксированы при воздействии на них ПеМП частотой 15000 и 20000 Гц. В основном отмечено такие изменения крыла как оттопыренные, сморщенные, загнутые вверх крылья, а также закрученные и длинные. На действие ПеМП частотой 15000 Гц более чувствительна чем остальные линии реагирует линия *m-5*. А линии *e* и *sn* устойчивы к действию ПеМП частотой 15000 Гц. При возрастании частоты ПеМП до 20000 Гц наблюдается увеличение числа морфологических изменений у исследуемых линий дрозофил, а также появляются и новые отклонения в морфологии крыла мух. Более чувствительной оказалась линия *m-5* (14 %), менее же чувствительной линией - *w* (1 %).

5. Предпосадочная обработка клубней картофеля ПеМП разных частот положительно влияет на биоресурсный потенциал картофеля. Отмечено увеличение всхожести сортов «Удача» и «Нарт-1» при предпосадочной обработке клубней ПеМП частотой 8000 Гц на 0,8 %; ПеМП частотой 15000 Гц на 15,0 % и 11,9 % соответственно; ПеМП частотой 20000 Гц на 16,6 % и 14,6 % соответственно.

Предпосадочная обработка клубней картофеля ПеМП разных частот также увеличивает некоторые биометрические показатели картофеля. Отмечено достоверное увеличение среднего количества стеблей, клубней и веса с одного куста по сравнению с контролем при использовании ПеМП частотой 15000 Гц и 20000 Гц. Среднее количество стеблей у сорта «Удача» и «Нарт-1» при частоте 15000 Гц увеличилось на 27,0 % и 25,5 % соответственно; при частоте 20000 Гц на 58,4 % и 53,4 % соответственно. Среднее количество клубней и вес с одного

куста у сорта «Удача» при частоте ПемП 15000 Гц увеличились на 54,9 % и 36,0 % соответственно, а при частоте ПемП 20000 Гц на 80,3 % и 65,9 % соответственно. У сорта «Нарт-1» данные показатели увеличились при частоте ПемП 15000 Гц на 66,1 % и 45,0 % соответственно; при частоте ПемП 20000 Гц на 77,4 % и 60,5 % соответственно.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Результаты исследования показывают, что *Drosophila melanogaster* может быть использована в качестве тест-системы при изучении влияния переменного магнитного поля на индивидуальное развитие организмов; для первичной индикации влияния на биологические объекты с целью выработки рекомендаций по безопасному использованию в деятельности человека; для мониторинга окружающей среды путем сравнения биологических показателей природной популяции и лабораторной линии.
2. Полученные материалы, по изучению влияния ПеМП разных частот на биоресурсный потенциал картофеля, могут дополнить существующие системы выращивания картофеля, позволяющие увеличить урожайность данной культуры.
3. Материалы диссертационной работы могут быть использованы в процессе преподавания общего курса биологии, генетики, экологии, эмбриологии, при изучении таких тем как мутационный процесс, а также растениеводство, селекция и семеноводство, биология сельскохозяйственных культур, основы научных исследований в агрономии и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян В.А., Гукасян Л.А., Сисакян И.С. Действие рентгенооблучения на продуктивность растений картофеля // Известия АН Армянской ССР. 1965. № 5. С. 52-55.
2. Авдеева Е.И., Летута У.Г. Влияние магнитного поля на колониеобразующую способность *E. coli* в присутствии изотопов магния // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 13 (188). С. 98-102.
3. Агаджанян Н.А., Макарова И.И. Магнитное поле земли и организм человека // Экология человека. 2005. № 9. С. 3-9.
4. Азарова С.В. Отходы горнодобывающих предприятий и комплексная оценка их опасности для окружающей среды (на примере объектов Республики Хакасия): автореф. дис. ...канд. геолого-минералогических наук: 25.00.36. Томск, 2005. 19 с.
5. Аницкая Ю.В. Влияние ионов Ве (бериллия) на жизнь и развитие дрозофил // Конкурс юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского. 2003. Режим доступа: <https://2003.vernadsk.ru/works/e4/03216.html> (дата обращения: 10.09.2014).
6. Асланян Р.Р., Бабусенко Е.С., Королева С.Ю. Воздействие факторов среды на живые системы и динамика изменения гетерогенности степени пространственной организации клеток // Электромагнитные излучения в биологии: труды 4-й международной научной конференции, Калуга, 21-23 октября 2008г. – Калуга: ГПУ им. К.Э. Циолковского, 2008. С. 23-28.
7. Бабкина В.В., Чернова Г.В. Некоторые аспекты влияния сведодиодного излучения на жизнеспособность, массу тела и соотношение самцов и самок *Drosophila melanogaster* // Электромагнитные излучения в биологии: труды 4-й

- международной научной конференции, Калуга, 21-23 октября 2008г. – Калуга: ГПУ им. К.Э. Циолковского, 2008. С. 31-36.
8. Бабкина В.В., Алленова Е.А., Чернова Г.В., Эндебера О.П. Эколого-биологические особенности динамики признаков *Drosophila melanogaster* и *Triticum Aestivum* в зависимости от дозы КВЧ-излучения // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2013. № 4. С. 162-168.
 9. Бабкина В.В., Чернова Г.В., Алленова Е.А., Эндебера О.П., Сидоров В.В. Модифицирующее влияние излучения крайне высокой частоты, как первичного экологического фактора, на онтогенетическую изменчивость признаков // Экология урбанизированных территорий. 2016. № 2. С. 33-38.
 10. Барышев М.Г. Взаимодействие низкочастотного магнитного поля с растительными биообъектами: дис. ...докт. биол. наук: 03.00.05. М., 2003. 332 с.
 11. Беляченко Ю.А. Пролиферация клеток растений при воздействии низкочастотного магнитного поля: дис. ...канд. биол. наук: 03.00.05. Саратов, 2009. 113 с.
 12. Беседин А.В. Особенности функционального состояния фагоцитов при воздействии магнитных полей различного происхождения: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.36. Курск, 2008. 18 с.
 13. Большаков М.А. Физиологические действия радиочастотных электромагнитных излучений на биообъекты разных уровней организации: дис. ...канд. биол. наук: 03.00.13. Томск, 2002. 319 с.
 14. Бурлаков А.Б., Капранов Ю.С., Куфаль Г.Э., Перминов С. В. Антропогенные возмущения ионосферы как дестабилизирующий фактор гелио -биосферных корреляций // Вестник Калужского университета. 2007. № 1. С. 15-24.
 15. Бутов А.В., Мандарова А.А. Урожай, качество и сохранность картофеля при использовании регуляторов роста растений // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 45. № 2. С. 13-19.

16. Бучаченко А.Л., Кузнецов Д.А., Бердинский В.Л. Новые механизмы биологических эффектов электромагнитных полей // Биофизика. 2006. Т. 51. № 3. С. 545-552.
17. Вайсман Н. Я., Федоров В.И., Немова Е.Ф. Терагерцевое излучение улучшает признаки приспособленности у *Drosophila melanogaster* // Сибирский экологический журнал. 2015. Т. 2. № 2. С. 293-300.
18. Вайсман Н.Я., Федоров В.И. Динамика достижения стадии имаго животными F1 после терагерцевого облучения родительских дрозофил // Онтогенез и экология. 2017. Т. 48. № 2. С. 165-171.
19. Важенин Е.И., Касьянов Г.И., Грачев А.В. Перспективы использования в пищевой индустрии технологий с применением электромагнитных полей крайне низкой частоты // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 85. С. 124-127.
20. Васильев А.А., Полевик Н.Д., Гордеев О.В. Влияние предпосадочной обработки клубней электромагнитным полем на урожайность картофеля // Вестник Бурятской гос. с-х академии им. В.Р. Филиппова. 2014. № 2. С. 29-35.
21. Васильева Е.Г., Мельник И.В. Влияние электромагнитного поля (ЭМП) на личиночное развитие пресноводной креветки *Neocaridina denticulate* // Электромагнитные излучения в биологии: труды 4-й международной научной конференции, Калуга, 21-23 октября 2008 г. – Калуга: ГПУ им. К.Э. Циолковского, 2008. С. 83-87.
22. Васильева Е.Г. Влияние высоко-и –низкочастотного электромагнитного полей на насекомых (на примере *Drosophila melanogaster*) // Вестник АГТУ. 2008а. № 3 (44). С. 182-185.
23. Васильева Е.Г. Механизмы влияния электромагнитных полей на живые организмы // Вестник АГТУ. 2008b. № 3 (44). С. 186-191.
24. Варенцова Е.Р., Шарыгин В.И., Хромых Ю.М. Анализ плодовитости и частоты доминантных летальных мутаций у α -облученных самок мутантной линии *rad (2) 201G1 Drosophila melanogaster* // Генетика. 1985. Т.11. № 9. С. 1494.

25. Гвоздарев А.Ю. Механизмы воздействия электромагнитных полей на биообъекты с позиции неоднородного модифицированного физического вакуума // Горно-Алтайский государственный университет. 2003. режим доступа: <http://puls.webservis.ru/> (дата обращения: 14.10.15).
26. Гершензон С.М. Основы современной генетики. Киев: Изд-во Наук. думка, 1983. 558 с.
27. Гидова Э.М., Пшибиева А.Н. Действие физических факторов на семена и проростки кукурузы // IX Международная конференция “Биологическое разнообразие Кавказа”. Махачкала. 2007. С. 101-102.
28. Гидова Э.М., Балкарова М.М., Хандохов Т.Х., Каширгова С.Х. Влияние переменных магнитных полей низких частот на митотическую активность клеток корневой меристемы *Allium L.* // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 3. С. 51-56.
29. Гичев Ю.П., Гичев Ю.Ю. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека // Серия Экология. Новосибирск. 1999. Вып. 52. С. 91.
30. Горбачева Е.С. Оценка влияния низкоинтенсивного импульсного лазерного излучения и светового режима на организм *Drosophila melanogaster*: дис. ...канд. биол. наук: 03.00.05. Калуга, 2005. 185 с.
31. Горенская О.В., Повар М.В., Говрилов А.Б. Анализ показателя длительности предимагинального развития у дрозофилы при воздействии малых доз сверхвысокочастотного электромагнитного излучения // VI Межд. науч. конф. «Фактори експериментальної еволюції організмів». Зб. н аук. праць. 2010b. Т. 8. С. 112–116.
32. ГОСТ 7001-66 Картофель семенной. Сортовые и посевные качества. В книге «Семена и посадочный материал с-х культур». М: Изд-во стандартов, 1973. С. 194-198.
33. Гречушников А.И., Серебренников В.С. Влияние предпосадочного облучения клубней картофеля гамма-лучами на рост и развитие растений, урожай и

- качество картофеля // Предпосевное облучение семян сельхозкультур. М.: Изд. АН СССР, 1963. С. 89-93.
34. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Меркулов А.В. Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное издание. М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999. 151 с.
35. Григорьев О.А., Белчедей Е.П., Меркулов А.В. Воздействие антропогенного электромагнитного поля на состояние и функционирование природных систем // Радиационная биология. 2005. Т. 3. № 5. С. 544-555.
36. Денисенкова И.В. Исследование возможности управления функциями биологического объекта электромагнитными полями низкой интенсивности: дис. ...канд. биол. наук: 03.00.05. Тула, 2000. 117 с.
37. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
38. Драй Р.В. Строение эпителия слизистой оболочки кишечника крысы при воздействии низкоинтенсивного импульсного магнитного поля: дис. ...канд. мед. наук. 00.03.25. СПб., 2009. 157 с.
39. Духина Н.Г. Влияние состава почвенных смесей на биометрические показатели и урожайность оздоровленных растений при выращивании рассады картофеля // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. С. 28-31.
40. Дятлов В.Л. Поляризация модель неоднородного физического вакуума. Новосибирск: Изд-во Института математики, 1998. 184 с.
41. Еськов Е.К. Биологические эффекты низкочастотного электромагнитного поля // Фундаментальные проблемы естествознания: матер. междунар. конгр. СПб., 1998. С. 65-66.
42. Жимулев Н.Ф. Общая и молекулярная генетика. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2003. 480 с.

43. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Устинова О. Ю. Техногенная среда обитания человека. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2013. 126 с.
44. Зайнуллин В.Г., Шапшиков С.В., Москалев А.А., Пунегов В.В. Влияние экдизон-содержащих препаратов растительного происхождения на продолжительность жизни линии *Drosophila melanogaster* в зависимости от генотипа // Успехи геронтологии. 2006. № 19. С. 33-35.
45. Зубков Н.В., Зубкова В.М., Борина Т.А. Биометрические параметры развития картофеля при различных концентрациях тяжелых металлов // Агроинженерия. 2007. Ч. 3. С. 36-39.
46. Исмаилов Э.Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений. М: Энергоатомиздат, 1987. 144 с.
47. Ихлов Б.Л., Мельниченко А.В., Ощепков А.Ю. Действие сверхвысокочастотного электромагнитного поля на микроорганизмы // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24. № 2. С. 141-146.
48. Кармилов В. И. Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строго периодической вибрации. Пермь: Молотовгиз, 1948. 168 с.
49. Князева И.Р. Действие радиочастотного электромагнитного излучения на развивающийся организм *Drosophila melanogaster*: автореф. дис. ...канд. биол. наук. Томск, 2001. 18 с.
50. Князева И.Р., Большаков М.А., Ельчанинов А.А., Климов А.И. Сравнительное изучение действия импульсно-периодического микроволнового и рентгеновского излучений на развитие дрозофилы // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 302. С. 228-230.
51. Князев Б.М., Князев А.Б., Казиева А.А. Производство семенного картофеля в горной зоне Кабардино-Балкарии // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: II Международная научно-практическая конференция. Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2016. С. 151-158.

52. Ковалева А.В. Влияние электромагнитных полей и излучений на биообъекты // Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Киев, 2009. С. 64-85.
53. Ковалева О.А. Влияние искусственного ультрафиолетового облучения на продуктивность и фотосинтетическую активность картофеля // Стратегия и тактика экономически целесообразной адаптивной интенсификации земледелия. 2014. Т. 2. С. 46-49.
54. Корнева О.Г. Влияние регуляторов роста и биологически активных веществ на продуктивность картофеля в условиях Среднего Поволжья: автореф. дисс. ...канд. с/х наук: 06.01.09. Астрахань, 2009. 24 с.
55. Корнилова А.А., Кириенко Н.В. Выявление действие мутагенов на показатели жизнедеятельности дрозофил // Исследование в области естественных наук. 2012. №6. -режим доступа: <http://science.snauka.ru/2012/06/515> (дата обращения: 25.09.2014).
56. Кравец А.П., Мюссе Т.А., Омельченко Ж.А. Динамика частоты гонодального дисгенеза у *Drosophila melanogaster* в контролируемых условиях хронического облучения // Цитология и генетика. 2010. № 3. С. 21-26.
57. Кривова А.А., Пяткова С.В., Козьмин Г.В., Литовченко А.В. Воздействие низкоинтенсивного электромагнитного поля СВЧ на морфофизиологические показатели ячменя // Электромагнитные излучения в биологии: труды 4-й международной научной конференции, Калуга, 21-23 октября 2008г. Калуга: ГПУ им. К.Э. Циолковского, 2008. С. 186-190.
58. Кудряшов Ю.Б., Перов Ю.Ф., Рубин А.Б. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения. М.: Физматлит, 2008. 184 с.
59. Кузнецова Т.Ю., Демчук Е.В., Пак И.В. Влияние пестицидов на онтогенетическую последовательность *Drosophila melanogaster* // Вестник Тюменского гос. ун-та. 2009. № 3. С. 248-254.

60. Кузнецова Т.Ю., Голосова А.В., Пак И.В. Генотоксические эффекты пестицидов: дельтаметрина (децис) метсульферонметила (магнума) // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2010. Вып.10. С. 101-108.
61. Лазаревич В.Г. Влияние электромагнитных полей на обмен веществ в организме. Львов: Высшая школа, 1978. 113 с.
62. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.
63. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных постоянных и переменных магнитных полей // Биофизика. 1996. Т. 41. С. 224-237.
64. Лехтлаан-Тыниссон Н.П., Шапошникова Е.Б., Холмогоров В.Е. Действие электромагнитного поля низкой частоты на культуры бактерий *E. coli* // Вестник ВГУ Серия: Химия. Биология. Фармация. 2003. № 2. С. 145-147.
65. Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Губарева О.С., Чиж Т.В. Применение радиационных технологий при хранении картофеля // Научные труды СКФНЦСВВ. 2018. Т. 20. С. 66-71.
66. Лучкина Л.А., Хромых Ю.М., Шарыгин В.И. Чувствительность мутанта *mis (2) 201G1* к метилметансульфонату и ультрафиолетовой радиации и нарушение репарации ДНК в уф-облученных клетках // Генетика. 1982. Т. 18. № 4. С. 625.
67. Любимов В.В. Биотропность естественных и искусственно созданных электромагнитных полей. М.: Изман, 1997. 85 с.
68. Магулаева А.А. Влияние мышьяка, кадмия, ртути и свинца в различных сочетаниях и дозировках на развитие *Drosophila melanogaster*: автореф. канд. ...биол. наук: 03.03.05. Ставрополь, 2012. 21 с.
69. Макаревич А.В. Влияние магнитных полей магнитоластов на процессы роста микроорганизмов // Биофизика. 1999. № 1. С. 70-74.
70. Мальцев С.В., Пшеченков К.А., Зейрук В.Н. Влияние химических и физических методов воздействия на клубни картофеля различного назначения при хранении // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: Состояние и перспективы. 2018. С. 285-289.

71. Манойлов В.Е. Электричество и человек. Ленинград: Энергоиздат, 1982. 152 с.
72. Мартиросян Ю.Ц., Диловарова Т.А., Мартиросян В.В., Креславский В.Д., Кособрюхов А. А. Действие светодиодного облучения разного спектрального состава на фотосинтетический аппарат растений картофеля в культуре *in vitro* // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 5. С. 680-687.
73. Маслоброд С.Н., Корлэтяну Л.Б., Ганя А.И. Влияние миллиметрового излучения на жизнеспособность растений // Электронная обработка материалов. 2010. № 5. С. 95-103.
74. Матрончик А.Ю., Беляев И.Я. Модель фазовой модуляции высокочастотных колебаний нуклеоида в реакции клеток *E. Coli* на слабые постоянные и низкочастотные магнитные поля // Биофизика. 1996. Вып. 41. № 3. С. 642-649.
75. Медведев Н.Н. Практическая генетика. М.: Наука, 1968. 20 с.
76. Медников Б.М. Дарвинизм в XX веке. М.: Современная Россия, 1975. 224 с.
77. Минакова А.В., Лимаренко Н.В., Тринц Д.В. Анализ воздействия электромагнитного поля на биологические объекты-палочковидной бактерии // Молодой исследователь Дона. 2016. № 3 (3). С. 22-28.
78. Моссэ И.Б., Савченко В.К. Генетический мониторинг экспериментальных популяций дрозофилы при облучении и воздействие антимуtagenом меланином // Радиобиология. 1986. Т. 26. № 1. С. 41-43.
79. Москалев А.А. Изменение продолжительности жизни линий дрозофилы с мутациями гомологов ATR, XPF и P53 после хронического облучения малыми дозами гамма-радиации // Тезисы IV международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине».–режим доступа www.biophys.ru/archive/congress2006 (дата обращения: 10.04.2014).
80. Насурлаева З. Ю. Влияние искусственного электромагнитного поля на рассаду // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 2. С. 7-11.
81. Никитина Е.А., Медведева А.В., Проников В.С., Сурма С.В., Щеголев Б.Ф., Саватеева-Попова Е.В. Ослабленное магнитное поле земли. Влияние на транскрипционную активность генома, облучение и память у *Drosophila*

- melanogaster* // Журнал высшей нервной деятельности им И. П. Павлова. 2017. Т. 67. № 2. С. 246-256.
82. Николаев А.В., Черемин Г.Е., Любимская И.Г., Кузнецов С.С., Прокафьева О.П. Эффективность предпосадочной обработки клубней регуляторами роста в семеноводстве картофеля // Достижение науки и техники. 2016. Т. 30. № 12. С. 40-42.
83. Новиков В.В., Шейман И.М., Лисицын А.С., Фесенко Е.Е. Зависимость влияния слабых комбинированных магнитных полей на интенсивность бесполого размножения планарий от величины переменного поля // Биофизика. 2002. Т. 47. Вып. 3. С. 564-567.
84. Новицкая Г.В., Молоканов Д.Р., Добровольский М.В., Новицкий Ю.И. Длительное действие слабых постоянного и переменного магнитных полей на онтогенез и метаболизм растений // Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов. 2017. С. 412.
85. Оуян Сиюй. Функциональная активность надпочечников при действии низкоинтенсивных переменных магнитных полей: дис. ...канд. биол. наук 03.00.05. М., 2005. 117 с.
86. Олейникова Т.Ю. Влияние электромагнитного излучения на жизненный цикл насекомых на примере *Drosophila melanogaster* // Естественные науки. 2011. № 2. С. 200-203.
87. Олейникова Т.Ю., Мельник И.В. Воздействия электромагнитного поля на плодовитость насекомых на примере *Drosophila melanogaster* // Вестник АГТУ. 2011. №1(35). С. 17-19.
88. Падалка С.М. Влияние слабых электромагнитных и химических воздействий на эмбриональное развитие амфибий: дис.. ...канд. биол. наук: 03.00.30. М., 2006. 108 с.
89. Павлов А.Н., Захарова Н.Б., Ляшенко А.В., Егорова Е.А. Экспериментальное исследование воздействия стационарных магнитных полей на эритроциты крови // Вестник Саратовского ГТУ. 2006. № 3. Вып. 1. С. 21-25.

90. Пасюга В.Н., Грабина В.А., Шкорбатов Ю.Г. Эффекты постоянного и вращающегося магнитного поля на жизнеспособность дрозиды на стадии эмбриогенеза и состояние хроматина в клетках человека // Материалы 16-й международной Крымской конференции «СВЧ техника и коммуникационные технологии». Севастополь. 2006. Т. 2. С. 925-926.
91. Позолотин А.А. Влияние магнитного поля на радиационно-индуцированные хромосомные aberrации у растений // Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1971. С. 89-97.
92. Плеханов В.Г. Биологические механизмы и механизм действия низкочастотных и статических электромагнитных полей на живые системы // Материалы Всесоюзного симпозиума. Томск: Изд-во Томский ун-т, 1984. 158 с.
93. Радионов Ю.А. Начальные ростовые процессы у семян гороха и пшеницы в магнитных полях, имитирующих вариации земного магнетизма: дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16. М., 2009. 118 с.
94. Рзянина А.В. Эффекты воздействия переменного магнитного поля на характеристики жизнедеятельности биообъектов: дис. ...канд. физ-мат. наук: 03.01.02. Саратов, 2010. 118 с.
95. Рыбникова В.И. Биологическое действие микроволн на некоторые микроорганизмы // Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума «Биологическое действие ЭМП». 1982. С. 27.
96. Савинов А.Б., Моничев А.Я., Солнцев Л.А. Моделирование развития популяции насекомых при возрастающих химическом загрязнении пищевого субстрата (на примере *Drosophila melanogaster*) // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 2. С. 125-132.
97. Савельев В. А. Магнитная и лазерная обработка семян // Земледелие. 1983. № 4. С. 32-33.

98. Саранцева С.В. Изучение проявлений мутаций мутагенной чувствительности в эмбриогенезе и оогенезе *Drosophila melanogaster*: дис. ...канд. биол. наук: 03.00.15. СПб.,1999. 160 с.
99. Селезнева Е.С., Склюев В.В. Способность *Drosophila melanogaster* адаптироваться к генетическому действию некоторых производных бензотриазола // Вестник СамГУ Естественно-научная серия. 2006. № 7. С. 207-211.
100. Сидоренко В.М. Механизм влияния слабых электромагнитных полей на живой организм // Биофизика. 2001. Т. 46. Вып. 3. С. 500-504.

101. Синовец С.Ю., Пяткова С.В., Драницына С.В., Козьмин Г.В. Оценка воздействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения методом биотестирования в модельных экспериментах // Электромагнитные излучения в биологии: труды 4-й международной научной конференции, Калуга, 21-23 октября 2008г. -Калуга: ГПУ им. К.Э. Циолковского, 2008. С. 267-270.
102. Стацюк Н.В. Повышение биоресурсного потенциала картофеля путем обработки семенного материала импульсным низкочастотным импульсным полем: дисс. ...канд. биол. наук: 03.02.14. Владикавказ, 2016. 136 с.
103. Тихонов А.В., Иванов И.А., Еникеева Т.Ф. Действие гамма-, УФ- и СВЧ-облучения на клубни картофеля // Современная техника и технологии. 2016. №11.Ч. URL: <https://technology.snauka.ru/2016/11/11072> (дата обращения: 13.04.2017).
104. Тертышная Ю.В., Левина Н.С., Елизарова О.В. Воздействие ультрафиолетового излучения на всхожесть и ростовые процессы семян пшеницы // Достижения науки. 2017. С. 31-36.
105. Урусбиева М.Х., Гидова Э.М., Паритов А.Ю. Влияние магнитного поля на ростовые процессы мягкой пшеницы в начальный период онтогенеза // Современные проблемы науки и образования. 2016. №3. -режим доступа: URL:<http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24843> (дата обращения: 24.05.2018).
106. Усанов А.Д. Исследование влияние переменного магнитного и электрического полей на живые организмы и водную среду с использованием дафнии в качестве биоиндикатора: дис. ...канд. физ-мат. наук: 03.00.02. Саратов, 2004. 103 с.
107. Усанов А.Д., Скрипаль А.В., Усанов Д.А. Биофизические аспекты воздействия электромагнитных полей // Саратов: Изд-во Саратовский ун-т, 2008. 136 с.
108. Федоров В.И., Вайсман Н.Я., Немова Е.Ф., Николаев Н.А. Отдаленные результаты влияния терагерцового излучения на стрессированных самок

- дрозофил // Электромагнитные неионизирующие излучения малой мощности в медицине и биологии. Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2012. Т. 2. № 6. С. 431-433.
109. Федоров В.И., Вайсман Н.Я., Немова Е.Ф., Николаев Н.А. Влияние терагерцевого излучения на продолжительность жизни стрессированных дрозофил // Биофизика. 2014. Т. 59. Вып. 3. С. 558-564.
110. Федорович Г.В. Экологический мониторинг. М., 2004. 137 с.
111. Феофилактова Т.В. Действие слабого постоянного магнитного поля на состав и содержание липидов и растворимых сахаров в растениях редиса: дис. ... канд.биол.наук: 03.00.12. М., 2005. 140 с.
112. Хандохов Т.Х. Влияние переменных электромагнитных полей различных частот на растительные тест-системы: дисс. ...канд. биол. наук: 03.00.05. Нальчик, 2004. 144 с.
113. Ходжаев Т.А. Влияние нейтронного облучения на энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы // Молодой ученый. 2014. № 3 (62). С. 48-51.
114. Цыгвинцев П.Н. Торможение физиологических процессов в клубнях картофеля после облучения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 11 (2). С. 341-346.
115. Чащин В.П., Аскарлова З.Ф., Минин Г.Д. Влияние естественного радиационного фона на состояние здоровья населения // Бюллетень нац. НИИ обществ. здоровья. 2005. № 1. С. 70-74.
116. Черемсин А.И., Якимова И.А. Влияние стимуляторов роста и биофунгицидов на продуктивность микрорастений картофеля // Достижения науки и техники. 2011. № 3. С. 26-28.
117. Чернова Г.В., Ворсобина Н.В. Влияние низкоинтенсивного импульсного лазерного излучения на основные параметры старения у *Drosophila melanogaster* // Радиобиология. 2002. Т. 42. № 3. С. 334.
118. Чернова Г.В., Бурлаков А.Б., Матюхин И.В., Бурцев А.С. Изменение морфометрических показателей озимой пшеницы на первом этапе органогенеза

- при воздействии низкоинтенсивным импульсным лазерным излучением на семена в стадии покоя // Электромагнитные излучения в биологии: труды 4-й международной научной конференции, Калуга, 21-23 октября 2008г. – Калуга: ГПУ им. К.Э. Циолковского, 2008. С. 282-289.
119. Чиж Т.В., Лой Н.Н., Губарева О.С., Кузнецова В.К., Гулина Н.В. Влияние гамма-излучения на продолжительность хранения и показатели качества картофеля // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Состояние и перспективы. 2018. С. 238-242.
120. Чопикашвили Л.В., Зангиева М.С., Гагкаева З.В., Пухаева Е.Г., Фарниева Ж.Г. Изучение генетической активности циклофосфана на фоне воздействия Zn, Cd и ее коррекция ДС в тест-системе *Drosophila melanogaster*. режим доступа: <http://www.skgmigtu.ru/mountain2010/Napravlenie5.pdf> (дата обращения: 25.10.2014).
121. Чуприкова Е.М. Реакция экспериментальных животных на слабые электромагнитные поля: дисс. ...канд. биол. наук: 03.00.13. Томск, 2003. 133 с.
122. Шапошников М.В., Зайнулин В.Г., Таскаев А.И., Москалев А.А. Генетические эффекты, индуцированные облучением в малых дозах у *Drosophila melanogaster* // Радиационная биология. Радиоэкология. 2006. Т. 46. № 3. С. 296-306.
123. Шевель Д.М. Электромагнитная безопасность. Киев: ВЕК+; НТИ. 2002. 432 с.
124. Шпигельман В.С., Сафаев Р.Д., Белицкий Г.А. Специфичность генотоксического действия канцерогенных ароматических соединений на *mus*-мутанты дрозофилы // Бюллетень экспериментальной биологии. 1991. № 6. С. 521-523.
125. Энбера О.П. Оценка биологической эффективности инфракрасного низкоинтенсивного импульсного лазерного излучения на уровне характеристик приспособленности у *Drosophila melanogaster*: автореф. дисс. ...канд. биол. наук: 03.00.01. Обнинск, 1996. 20 с.

126. Юранева И.Н. Динамика генотипической изменчивости популяций *Drosophila melanogaster* в условиях хронического облучения // BioScience Blog– Научный Биологический блог. 2010. -режим доступа: www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Conferences/157.pdf (дата обращения: 25.10.2014).
127. Янчевская Т.Г., Ковалева О.А. Стимулирование морфо-образовательных процессов в меристемных растениях картофеля под действием ультрафиолетового облучения В-диапозона // Физиология растений и генетика. 2015. Т. 47. № 4. С. 287-295.
128. Avis C. James and John Jaeni “Sex Ratio” Meiotic Drive in *Drosophila testacea* // Genetics 146. 1990. P. 651-656.
129. Andersen J.B., Pedersen G.F. The technology of mobile telephont systems relevant for risk assessment // Radiat. Prot. Dosim. 1997. №3-4. P. 249-257.
130. D Arsonval D. A. Remarques a propose de la communication de M. Dubois // Soc. biol. 1886. P.128.
131. Audus L.I. Magnetotropism: a new plant-growth response // Nature. 1960. № 4707. P. 132.
132. Becker G.A. Magnetfeld orientierung von dipteran // Naturwissenschaftien. Bd. 50. 1965. № 21. P. 664.
133. Becker G.A. Elektrische kommunikation beitermiten // Zangew entomol. 1977. P. 82.
134. Blakemore R. Magnetotactile bacteria // Science. 1979. № 9. P. 21.
135. Brown F.A., Webb H.M., Barnwell F.H. Acompass directional rhenomenon in mud-snails and its relation to magnetism // Biol. Bull. 1964. Vol. 127. № 2. P. 206.
136. Brown F.A. A unified theory for biological rhythms // Circadian clocks ed. Amsterdam. 1969. P. 231.
137. Bovelli R. Stimulations of germination, calls growth and shoot regeneration of nicotian tabacum pulsing electromagnetic fields // Adv. Hort. Sci. 2000. P. 3-6.
138. Ducus A M., Shultz A.J. A survey of the effect of magnetic environments on seed germination and early growth // Plant Physiol. 1964. № 5. P. 29.

139. Davies M.S. Effects of 60 Hz electromagnetic fields on early growth in three plant species and a replication of previous results // *Bioelectromagnetics*. 1996. Vol. 17. P. 154-161.
140. De Loecker W. Delpont P.H., Cheng N. Effects of pulsed electromagnetic fields on rat skin metabolism // *Biochim Biophys Acta*. 1989, Jun 26. № 982 (1) P. 9-14.
141. Errera L.L. Aimant agit-il le novau en division // *Bull. Soc. roy. bot. Belgique*. 1890. P. 29.
142. Cazemajor M., Landré C., Montchamp-Moreau C. The sex-ratio trait in *Drosophila simulans*: genetic analysis of distortion and suppression // *Genetics*. 1997. Vol. 147. № 2. P. 635–642.
143. Gould G.L. Magnetic field sensitivity in animals // *Ann. rev. psychol.* 1984. № 46. P. 85-589.
144. Goldsmith J.R. Epidemiological studies of radiofrequency radiation: Current status and areas // *Sci. total environ.* 1996. № 1. P. 3-8.
145. Gretz M.R. Cellulose biogenesis bacteria and higher plants disrupted by magnetic fields // *Naturwissenschaften*. 1989. № 8. P. 380-389.
146. Juutilainen J., Rene S. Biological effects amplitude radiofrequency radiation // *Scand work, Environ. and health*. 1998. № 4. P. 245.
147. Kudo K. Effect of external magnetic flux antitumor antibiotic neocarzinostatin *Streptomyces carzinostaticus* // *Jap. appl. phys. pt.1*. 1993. № 11. P. 5180-5183.
148. Kirshvink J. Biogenic magnetite: A ferrimagnetic mineral in bacteria, animals and man // *Proceedings of the international conference Japan, 1980*. 1981. P. 135-137.
149. Liboff A.R. Evolution and the change in electromagnetic state // *Electro-and Magnetobiology*. 1994. № 15. P. 245-252.
150. Mantiply E.D., Kenneth R.P., Murphy J. Summary of measured radiofrequency electric magnetic field (10 kHz to 30kHz) in general and work environment // *Bioelectromagnetics*. 1997. № 8. P. 563–577.
151. Muraji M., Tatebe W. On effect alternating magnetic field growth of the primary root of corn // *Met. fac. eng., Osaka city univ.* 1992. P. 61-68.

152. Novak J., Valek L. Attemp at demonstrating the effect magnetic field on *Taraxacum officinale* // *Biol. plantarum* (Praha). 1965. № 6. P. 469.
153. Niehaus M., Bruggemeyer H., Hermann M.B., Lerchl A. Growth retardation, testicular stimulation and increased melatonin synthesis by weak magnetic fields (50 Hz) in djungarian hamster *Phodopus sungorus* // *Biochem. and biophys. res. commun.* 1997. № 3. P. 707-711.
154. Pittman U.J. Magnetism and plant growth. I. Effect on germination and early growth of cereal seeds // *Canad. J. Plant Sci.* 1963. № 4. P. 513.
155. Pittman U.J. Magnetism and plant growth. II. Effect on root growth of cereals // *Canad. J. Plant Sci.* 1964. № 3. P. 283.
156. Phillips J.B. Directional and discriminatory responses of salamanders to weak magnetic fields // In: *Animal Migration Navigation and homing.* Springer-Verlag, Berlin. 1978. P. 325–333.
157. Quinn T.P. A model for salmon navigation high seas // In: *proceedings of the salmon and trout migratory behavior symposium.* 1982. P. 229–231.
158. Rapley B.I., Page W.H., Podd J.V. Influence of extremely frequency magnetic on chromosomes and the mitotic cycle in *Vicia faba* the broad // *Bioelectromagnetics,* Issue 3. 1998. P. 152-161.
159. Reinke J. Untersuchungen uber Wachstum // *Bot. Zeitung.* 1876. № 5. P. 11.
160. Ruzic R., Jerman I., Jeglic A., Fefer D. Electromagnetic stimulation of buds of *Castanea sativa*, Mill. in tissue culture // *Electro- and Magnetobiol.* 1992. Vol.11. № 2. P. 145-153.
161. Shabrangi A., Majd A. Effect of magnetic fields on growth and antioxidant systems in agricultural plants // *PIERS Proceedings.* 2009. P. 142-147.
162. Sheppard A.R. Biological effects of high voltage current transmission lines // *Report to the Department of natural resources and conservation, Helena.* 1983. P. 207-258.
163. Tenforde T.S., Kaune W.T. Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans // *Health. Phys.* 1987. № 53. P. 585-606.

164. Tolomei G. Azione magnetismo sulla germinazione // *Malpighia*. 1893. № 7. P. 470.
165. Vasilevski G., Bosev D. Results of the effect of the laser light on some vegetables // *Acta Horticulturae*. 1997a. Vol. 62. P. 473-476.
166. Vizi E.S., Szalay K. Catecholamines released local involved fine tuning steroid secretion zonee glomerulosa cells: Functional and evidence // *J. Endocrinol.* 1992. №2. P. 549-561.
167. Wang B., Chen X., Wang Z., Fu Q. Biological effect of sound field stimulation on paddy rice seeds // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2003. Vol. 32. P. 29-34.
168. Weindler P., Wiltschko R. Magnetic information the stellar orientation bird migrants // *Nature*. 1996. № 659. P. 158-160.
169. Yano A., Fujiwara K., Imoto M. Induction of primary curvature in radish seedlings static magnetic field // *Bioelectro magnetics*. 2001. P. 194-199.