

13. Веселов А.П., Курганова Л.Н., Балалаева И.В. Роль REDOX-статуса в регуляции активности глутатионзависимых антиоксидантных ферментов хлоропластов при воздействии экзогенного H₂O₂ // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. – 2007. – № 1. – С.119–120.
14. Гродзинский Д.М. Радиобиология растений. – Киев: Наукова думка, 1989. – 380 с.
15. Удовенко Г. В., Гончарова Э. А. Влияние экстремальных условий среды на структуру урожая сельскохозяйственных растений // Методические указания. –М.: Гидрометеоиздат, 1982. – 144 с.
16. Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений. – М.: Мир, 1986. – Т.2. – 312 с.
17. Физиология растений: Учебник для студентов вузов / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко и др.; под ред. И.П. Ермакова. – М.: Академия, 2005. – 640 с.
18. Холл Д., Рао К. Фотосинтез. – М.: Мир, 1983. – 134 с.
19. Патент 2140432 РФ, МПК С09К15/00. Составы, содержащие антиоксиданты; составы, замедляющие химические реакции / В.К. Гинс, П.Ф. Кононков, В.Ф. Пивоваров и др. Опубл. 27.10.1999.

Поступила в редакцию 28.04.2015

УДК 57.084:537.8

Эффекты действия техногенных электромагнитных излучений и полей на живые организмы (обзор)

М.М. Шашурин

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск

Обзор посвящен вопросам изучения влияния электромагнитных волн и полей на биообъекты. Описаны основные источники техногенного электромагнитного загрязнения – это системы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии, функциональные передатчики, так же приведены их физические характеристики. Приведены примеры ответных реакций организмов на воздействие электромагнитных полей и излучений. Описаны основные принципы методологического подхода к исследованиям взаимодействия живых организмов и электромагнитных воздействий. Проанализированы различные гипотезы о механизмах взаимодействия электромагнитных полей и излучений с микроорганизмами, насекомыми, растениями и млекопитающими. Показано, что изучение влияния электромагнитных полей и излучений на биологические объекты позволяет получать важные научные данные, которые могут быть применены на практике, в экологии – для разработки предельно допустимых уровней ЭМП для человека и других биообъектов, в медицине – при разработке новых способов диагностики и методов физиотерапевтического лечения болезней, биотехнологии – как один из способов регулирования биохимических показателей различных микробных культур.

Ключевые слова: живые организмы, электромагнитное поле, магнитотропизм, магниторецепция.

The review is devoted to problems of studying of electromagnetic waves and fields influence on biological objects. Main sources of technogenic electromagnetic pollution and their physical characteristics are listed. Examples of organisms' responses to influence of electromagnetic fields and radiations are given. The basic principles of methodological approach to studies of living organisms and electromagnetic influences interaction are described. The analysis of hypotheses describing mechanisms of interaction of electromagnetic fields and waves with biological objects is carried out. It is shown that studying of influence of electromagnetic fields and radiations on biological objects allows to obtain important scientific data which can be put into practice, in ecology – for development of the EMP marginal levels for a human being and other biological objects, in medicine - for development of new ways of diagnostics and methods of physiotherapeutic treatment of diseases, in biotechnology – as one of ways of regulation of biochemical indexes of various microbial cultures.

Key words: living organisms, electromagnetic field, magnetotropism, magnetoreception.

Эволюция всего живого на нашей планете протекает под непрерывным воздействием магнитных, электрических полей, электромагнитных излучений природного происхождения, таких как магнитное поле Земли, электростатическое поле атмосферы, космическое и солнечное излучение. Поэтому в процессе эволюции у живых организмов выработались различные стратегии взаимодействия с естественным электромагнитным фоном Земли. Например, у многих растений сформировалось свойство магнитотропизма (изгибание стебля или корня в процессе роста под действием постоянного магнитного поля) [1]. Также существуют системы пространственной ориентации по магнитному полю Земли у птиц, но физический механизм компасной магниторецепции пока не выяснен [2].

На современном этапе развития цивилизации основным, производимым и потребляемым источником энергии является электричество. За последние 100 лет производство и потребление электроэнергии в мире увеличилось более чем в 1500 раз. Любое использование или даже просто передача электроэнергии по проводам индуцирует возникновение искусственных электрических, магнитных, электромагнитных полей и излучений различных частот и мощностей [3]. Так как искусственные электромагнитные поля обладают на много большими интенсивностями и отличным от естественных частотным диапазоном, они могут изменять различные характеристики живых организмов, адаптированных только к природным электромагнитным полям (ЭМП).

Основными источниками техногенного электромагнитного загрязнения (смога) являются:

- системы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии постоянного и переменного токов (0–3 кГц): электростанции, линии электропередач, трансформаторные подстанции, системы электроснабжения, бытовые приборы;

- транспорт на электроприводе (0–3 кГц): железнодорожный транспорт и его инфраструктура, городской транспорт – метрополитен, троллейбусы, трамваи и т. п. – является относительно мощным источником магнитного поля в диапазоне частот от 0 до 1000 Гц. Максимальные значения плотности потока магнитной индукции «В» в пригородных электричках достигают 75 мкТл при среднем значении 20 мкТл;

- функциональные передатчики: радиовещательные станции низких (30–300 кГц), средних (0,3–3 МГц), высоких (3–30 МГц) и сверхвысоких (30–300 МГц) частот; телевизионные передатчики; базовые станции систем подвижной (в т.ч. сотовой) радиосвязи; наземные станции

космической связи; радиорелейные станции; радиолокационные станции и т. п. [4].

Гигиеническая оценка уровней ЭМП от всех типов радиостанций сухопутной подвижной связи (включая ручные радиотелефоны, абонентские терминалы спутниковой связи) осуществляется при частотах меньше 300 МГц – по значениям напряженности электрического поля «Е» (В/м), при $300 < \text{частота} < 2400$ МГц – по значениям плотности потока энергии (мВт/см² или мкВт/см²) [5].

Влияние электромагнитных полей и излучений на различные характеристики живых организмов может проявляться на различных уровнях их организации: от биохимического до поведенческих реакций животных. Например, воздействие слабых магнитных полей на проростки гороха вызывало изменение уровня перекисного окисления липидов и содержания аскорбиновой кислоты в хлоропластах [6].

Было показано, что действие ЭМП промышленной частоты (50 Гц) приводит к изменениям физиолого-биохимических и цитологических характеристик проростков семян *P. media*, в том числе суммарного содержания зеленых пигментов (Хл. а+b) и каротиноидов в тканях проростков *P. Media* [7]. Установлено, что с увеличением значений напряженности электрического и индукции магнитного поля наблюдалось снижение всхожести семян, показателя митотической активности клеток корневой меристемы и интенсивности молекулярно-генетических процессов в тканях проростков [7].

Хроническое воздействие переменного электрического поля, с частотой 8 Гц и напряженностью 0,7 В/м, на самок кроликов в период течки и беременности приводит к дегенеративным изменениям фолликулов и снижению рождаемости [8]. Исследования поведения пчел в зоне влияния ЛЭП показали увеличение их агрессивности и беспокойства, снижения работоспособности, склонности к роению, потере маток [9].

Относительно влияния электромагнитных полей и излучений на организм человека существует множество публикаций, описывающих как положительные, так и отрицательные стороны влияния на здоровье. Из негативных последствий воздействия ЭМП – быстрая утомляемость, повышенная возбудимость и другие нарушения по типу астенического синдрома [10, 11]. Исследования, проведенные И.В. Зюзиной, показали, что хроническое воздействие электромагнитных излучений судовых радиолокационных станций повышает заболеваемость онкологическими, различными иммунными патологиями, сердечно-сосудистой системы среди работников [12].

Кроме отрицательных сторон воздействия электромагнитных полей на организм человека имеются и положительные эффекты. Например, в медицинской практике широко и с успехом применяются методы электромагнитной терапии, такие как электролечение, основанное на воздействии на организм большого ультравысокочастотного электромагнитного поля. Магнитотерапия – сравнительно новое направление физиотерапии, основанное на воздействии переменного магнитного поля низкой частоты на весь организм или его часть. Ткани организма под влиянием магнитного поля не намагничиваются, однако многим составным элементам тканей (например, воде, форменным элементам крови) могут передаваться магнитные свойства. Данный метод действует на субмолекулярном, молекулярном и субклеточном уровнях [13]. Очень чувствительна к магнитному полю сердечно-сосудистая система и при лечении заболеваний сердца улучшается коронарное кровообращение, снижается потребность миокарда в кислороде, повышается устойчивость организма к физической нагрузке. При воздействии на сосуды достигается их расширение, снижается вязкость крови и способность тромбоцитов образовывать тромбы в сосудах, улучшается местное кровообращение, доставка к тканям и органам кислорода. Таким образом, магнитные поля оказывают противовоспалительное, противоотечное, седативное, болеутоляющее действия. Основные эффекты воздействия магнитных полей на животные организмы известны: 1) усиление кровотока и улучшение кислородтранспортной функции крови [14, 15]; 2) изменение скорости миграции ионов кальция [16]; 3) изменение кислотно-щелочного баланса (рН) различных жидкостей в теле человека и животных [15]; 4) изменение выработки (чаще повышение) гормонов эндокринными железами [17]; 5) изменение ферментной активности и скоростей различных биохимических процессов [18, 19]; 6) снижение вязкости крови [20].

Электромагнитные поля оказывают влияния и на растения. Кроме упомянутого выше магнитотропизма, внешние магнитные поля могут задавать различные биоритмы и изменять ритмы функционально-динамических процессов в растениях [21]. Также было показано, что переменное магнитное поле с индукцией 25 мТл в диапазоне частот 1–12 Гц оказывает стимулирующий эффект на митотическую активность апикальных корневых и стеблевых меристем одно- и двудольных растений [22]. Имеются данные о стимулирующем влиянии коротких электромагнитных волн на рост и развитие проростков томатов и на увеличение продуктивности и сроков их плодоношения [23].

Некоторыми авторами были выявлены стимулирующие эффекты коротковолнового излучения на примере дрожжей [24, 25].

И все же, если говорить об электромагнитном загрязнении (незапланированном, техногенном насыщении среды обитания различными видами электромагнитных полей и излучений), то чаще всего целесообразно определять данное воздействие как негативное, так как оно выводит из естественного гомеостаза не только отдельные организмы, но и целые экосистемы. Например, воздействие электромагнитных полей даже нетеплового уровня, отличающегося от параметров естественного фона, вызывает обратимые изменения регуляции физиологических процессов: у животных – изменение интенсивности обменных процессов, иммунной активности и т.п.; у растений – изменения процессов роста, газообмена, поглощения минеральных веществ и т.п. Под влиянием ЭМП изменяется и поведение животных – их двигательная активность, ориентация в пространстве, способность к выработке условных рефлексов [26].

На сегодняшний день ни в одной стране мира не разработаны предельно допустимые уровни (ПДУ) для оценки воздействия электромагнитных полей и излучений на окружающую среду. Единственным объектом, для которого созданы и внедрены ПДУ и Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы – это человек. В Российской Федерации воздействие электромагнитных полей на человека регламентируется СанПиН № 2.2.4.1191-03.

Методология проведения исследований

Вышесказанное позволяет заключить, что изучать действие электромагнитных полей и излучений можно на любых биологических объектах. Вместе с тем для правильной постановки цели и задач исследований требуется конкретизировать выбор биообъектов и исследуемых их свойств, а также параметров действующего поля или излучения. С методологической точки зрения в работах, посвященных воздействию электромагнитных полей и излучений на биообъекты, выделено три уровня исследований:

1. Феноменологический, когда за основу берется любая комбинация триады стимул–объект–реакция и основной целью является обнаружение некоего эффекта, связанного с наличием или отсутствием случайно взятого внешнего электромагнитного воздействия. Это начальный этап исследований, доказывающий наличие проблемы.

2. Биофизический уровень исследований заключается в попытке объяснить наблюдаемые биологические эффекты с точки зрения совре-

менных физико-химико-биологических представлений. Данный тип исследований может быть применен только в частных вопросах, когда между механизмом и внешней реакцией объекта устанавливается причинно-следственное соответствие.

3. Кибернетический тип исследований является промежуточным между феноменологическим и биофизическим. За основу берется кибернетическое определение системы как «черного ящика» и по изменению входных и выходных параметров делается попытка его «просветления». Этот тип исследований представляется наиболее перспективным. Основу его составляют тщательно продуманные системы выбора экспериментальной триады стимул – объект – реакция и переход от одной комбинации к другой [27].

Механизмы действия ЭМП

Несмотря на то, что проведено и проводится огромное количество исследований по воздействию электромагнитных полей и излучений на биообъекты, природа выявленных эффектов до сих пор до конца не выявлена.

Существуют несколько гипотез о механизмах действия электромагнитных полей на биологические объекты:

1. Гипотеза биогенного магнетита заключается в том, что в теле некоторых животных и микроорганизмов естественным путем образуются микроскопические кристаллы, обычно магнетита, способные намагничиваться. Во внешнем магнитном поле такие кристаллы испытывают вращательный момент и оказывают давление на близлежащие ткани, что и вызывает биологическую реакцию [28]. По-видимому, эта идея способна объяснить некоторые магнитобиологические эффекты, но у многих живых организмов в клетках отсутствует биогенный магнетит, а эффекты от воздействия магнитного поля присутствуют. Ориентационные эффекты могут возникать также и на молекулярном уровне, как проявление диа- и парамагнетизма. Однако эти эффекты становятся существенными только в достаточно сильных МП, порядка 1 Тл и выше.

2. Идея о том, что действующим фактором при облучении биологических систем низкочастотным МП являются вихревые электрические токи, индуцируемые переменным МП в биологических тканях. Они могут приводить к нагреву ткани, а также смещать стационарное равновесие электрохимических реакций, если их плотность превышает плотность естественных биотоков $\sim 1 \text{ мА/м}^2$. Интенсивность токов определяется напряженностью индуцированного электрического поля, которая пропорциональна

произведению амплитуды и частоты магнитного поля. Если данная гипотеза верна, то магнитобиологический эффект в эксперименте должен коррелировать с изменениями этой величины. Действительно, имеются экспериментальные свидетельства того, что с ростом напряженности переменного МП появляется такая корреляция. Однако корреляций в случае относительно слабых МП, порядка геомагнитного, в нескольких независимых исследованиях обнаружено не было. Это указывает на существование первичных механизмов магнитобиологических эффектов, не связанных с вихревыми токами [29].

3. В микроволновом диапазоне биологические эффекты могут быть объяснены тем, что области воды, окружающие биологически важные ионы или сложные биофизические структуры, имеют разную комплексную диэлектрическую проницаемость [30, 31].

4. Также существует мнение о том, что электромагнитные воздействия обладают сигнальным (информационным) характером действия на биологические системы. Сигнальный эффект объясняется тем, что биосистема находится в состоянии, близком к режиму неустойчивого динамического равновесия, поэтому надо лишь подтолкнуть систему и она перейдет в другое состояние за счет внутренних ресурсов. Другими словами, произойдет так называемое биологическое усиление слабого сигнала магнитного поля [32, 33].

5. Энергия тепловых флуктуаций химических процессов в живых организмах на десять порядков выше, чем энергия кванта магнитного поля, что вызывает закономерный вопрос, почему при таких разностях энергий проявляется магнитобиологический эффект? Решение связывают с идеей когерентного воздействия внешнего фактора на фоне некогерентного теплового шума, которое позволяет раскачать какую-либо систему до состояния, в котором его энергия будет достаточна для инициирования акта химической реакции, либо изменить синхронную систему так, что высвободится квант энергии коллективного возбуждения [34].

6. Другая гипотеза заключается в том, что не энергия, а какие-то другие параметры системы, например, поляризация колебаний, приобретают под действием МП свойства, не безразличные для работы связанных с ним биофизических систем. Существует модель, согласно которой, колебания ионов при действии магнитных полей оказывают влияние на конформацию некоторых белков [35].

7. В ряде случаев эффекты слабых МП имеют резонансный характер, причем эффективные частоты близки к циклотронным частотам ио-

нов Ca^{+2} , Na^{+} и др. [36]. Резонансный характер биологических эффектов электромагнитных полей наблюдаются в разных частотных диапазонах. Для объяснения этих эффектов рассматривают несколько возможных механизмов, включая изменение конформации белков вследствие индуцированного ЭМП, изменения степени гидратации некоторых молекул [37].

8. Многие авторы связывают биологическое действие МП с измененными состояниями воды, которые возникают при действии внешних полей на воду. Далее эти перестройки кластеров воды передаются на биологический уровень за счет участия воды в разнообразных метаболических реакциях. В настоящее время остается неясным, что именно в жидкой воде могло бы быть мишенью действия магнитных полей. Вместе с тем есть основание полагать, что эффект действия электромагнитных полей проявляется за счет наличия относительно устойчивых водно-молекулярных ассоциатов, обладающих поляризованными доменами, определяющими свойство памяти на электромагнитное воздействие [38]. Устойчивые структурные изменения в воде наблюдали по спектрам люминесценции и связывали с наличием в воде дефектов разного типа с характерными центрами излучения [39]. Некоторыми авторами предложена модель, в которой жидкая вода представлена как «вязаная» структура из линейных молекулярных ассоциатов или лент, составленных из около 20 ориентированных молекул воды. Состояние такой системы описывается в рамках вращательных солитонных возбуждений, распространяющихся вдоль лент и взаимодействующих с возбуждениями на соседних лентах и с внешним ЭМП [40]. Общепризнанная точка зрения на природу носителей памяти в жидкой воде и их взаимодействие с электромагнитными полями пока отсутствует.

Заключение

Изучение влияния электромагнитных полей и излучений на биологические объекты позволяет получать важные научные данные, которые могут быть применены на практике, в экологии – для разработки предельно допустимых уровней ЭМП для человека и других биообъектов, медицине – при разработке новых способов диагностики и методов физиотерапевтического лечения болезней, биотехнологии – как один из способов регулирования биохимических показателей различных микробных культур. Кроме того, выявление механизмов воздействия электромагнитных полей и излучений позволит перейти на новую фундаментальную ступень понимания взаимодействия живой и неживой природы.

Литература

1. Крылов А.В., Тараканова Г.А. Явление магнитотропизма у растений и его природа // Физиология растений. – 1960. – Т.7, №2, –С. 191.
2. Кавокин К.В., Чернецов Н.С., Пахомов А.Ф. и др. Нарушение работы магнитного компаса садовой славки (*Sylvia borin*) слабым переменным магнитным полем // Ориентации и навигации животных: Тезисы научн. конф. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 60 с.
3. Кривошеин Д.А., Муравей Л.А., Роева Н.Н. и др. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие для вузов / Под ред. Л.А. Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 447 с.
4. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 175 с.
5. Гигиеническая оценка электромагнитных полей, создаваемых радиостанциями сухопутной подвижной связи, включая абонентские терминалы спутниковой связи // Методы контроля. Физические факторы. МУК 4.3.1676-03 Минздрав России. – М., 2003.
6. Половинкина Е.О., Кальясова Е.А., Синицына Ю.В., Веселов А.П., Изменение уровня перекисного окисления липидов и активности компонентов антиоксидантного комплекса в хлоропластах гороха при воздействии слабых импульсных магнитных полей // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 6. – С. 930–934.
7. Shashurin M. M., Prokopiev I. A., Shein A. A. et al. Physiological responses of *Plantago media* to electromagnetic field of power-line frequency (50 Hz) // Russian Journal of Plant Physiology. July 2014. – Vol. 61 Issue 4. – P. 484–488.
8. Бродовская З.И., Королева В.А., Нелюбина Э.Г. Влияние слабых электромагнитных полей (ЭМП) на некоторые показатели метаболизма лейкоцитов и воспроизводительную функцию самок млекопитающих // Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. – Харьков: Харьковский мед. институт, 1973. – Т.53. – С.25–30.
9. Плеханов Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии / Под ред. А.Г. Карташева. – Томск, 1990. – 186 с.
10. Вялов А.М. Клинико-гигиенические и экспериментальные данные о действии магнитных полей в условиях производства // Влияние магнитных полей на биологические объекты. – М.: Наука, 1971. – С.165
11. Асанова Т.П., Раков А.Н. Состояние здоровья работающих в электрическом поле открытых распределительных устройств 400–500 кВ // Гигиена труда и профзаболеваний. – 1966. – № 5. – С. 50–52.

12. *Зюзина И.В.* Отдаленные последствия хронического облучения людей электромагнитными полями сверхвысоких частот судовых радиолокационных станций: Автореф. дис. ... к.б.н.: 03.00.16. – Находка, 2009. – 23 с.
13. *Пономаренко Т.Н.* Электромагнитотерапия и светолечение. – СПб.: Мир и семья, 1995. – 248 с.
14. *Чураков А.В.* Лечение тяжелой черепно-мозговой травмы с использованием комбинированной экстракорпоральной аутогемомангнитотерапии: Автореф. дис. ... к.м.н.: 14.00.37, 14.00.28. – Минск, 2009. – 23 с.
15. *Якубцевич Р.Э., Спас В.В., Плетнев С.В.* Использование магнитных полей в реаниматологии и интенсивной терапии // Медицинские новости. – 2003. – № 3. – С. 72–74.
16. *Багель Е.Г.* Основные аспекты механизма действия физических факторов при использовании их в спортивной медицине // Материалы Межд. сателлитного симпозиума «Физические факторы в повышении работоспособности, лечении и реабилитации легкоатлетов». – Минск, 2001. – С. 9–13.
17. *Остапенко В.А. и др.* Биологическое действие магнитных полей // Эфферентная терапия. – 2004. – Т. 10, № 4. – С. 21–23.
18. *Byus C.V., Pieper S.E., Adey W.R.* The effects of low-energy 60-Hz environmental electromagnetic fields upon the growth-related enzyme ornithine decarboxylase. *Carcinogenesis*. 1987. Oct;8(10):1385–1389.
19. *Litovitz T., Krause D., Penafiel M. et al.* The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity // *Bioelectromagnetics*. – 1993. – № 14. – P. 395–404.
20. *Теплякова А.И., Тепляков Н.Г., Кручинский В.А., Остапенко Д.В.* Ишемическая болезнь мозга в условиях низкоуровневого радиационного воздействия: некоторые гематологические аспекты. Сообщение 2. Особенности состояния эритронов и реологических свойств крови // Эфферентная терапия. – 2000. – № 1. – С. 32–35.
21. *Мизун Ю. В., Мизун Ю. Г.* Тайны будущего. – М.: Вече, 2000. – 592 с.
22. *Беляченко Ю.А., Усанов А.Д., Тырнов В.С., Усанов Д.А.* Угасание эффекта стимуляции митотической активности меристем при увеличении сроков хранения сухих семян после экспозиции в низкочастотном магнитном поле // Бюл. Бот. сада Саратовского ун-та. – 2010. – Вып. 9. – С. 135–138.
23. *Насурлаева З.Ю.* Влияние искусственного электромагнитного поля на рассаду // Современные наукоемкие технологии. – 2009. – № 2. – С. 7–11.
24. *Голант М.Б., Кузнецов А.П., Божанова Т.П.* О механизме синхронизации культуры дрожжевых клеток КВЧ-излучением // Биофизика. – 1994. – Т. 39, вып. 3. – С. 490–495.
25. *Гамаюрова А.Ю., Крыницкая М.Н., Астраханцева М.Н.* Влияние ЭМИ КВЧ нетепловой интенсивности на рост дрожжей *saccharomyces cerevisiae* // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2004. – №1. – С. 117–120.
26. *Григорьев О.А., Бичелдей Е.П., Меркулов А.В. и др.* Определение подходов к нормированию воздействия антропогенного электромагнитного поля на природные экосистемы // URL http://www.tesla.ru/publications/index.php?subaction=showfull&id=1117384010&archive=&start_from=&ucat=6&.
27. *Плеханов Г.Ф.* Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии / Под ред. А.Г. Карташева. – Томск. изд. Томского ун-та, 1990. – 187 с.
28. *Киривинк Дж., Джонс Д., Мак-Фадден Б.* Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме. – М.: Мир, 1989. – 353 с.
29. *Рыбаков Ю.Л., Седакова А.А., Николаева Т.Г. и др.* Изучение противоопухолевого действия вихревого магнитного поля (ВМП) в экспериментальных тест-системах *in vitro* и *in vivo* // Медицинская физика. – 2003. – № 3. – С. 42–50.
30. *Ильина С.А., Бакаушина Г.Ф., Гайдук В.И. и др.* О возможной роли воды в передаче воздействия излучения миллиметрового диапазона на биологические объекты // Биофизика. – 1979. – Т. 24, № 3. – С. 513–518.
31. *Лященко А.К., Родитат И.В., Новскова Т.А.* Водная система клетки как объект слабого воздействия // Избранные труды Межд. конгресса «Слабые и сверхслабые излучения в биологии и медицине». – СПб., 01–04 июля 2003. – С. 3–13.
32. *Плюсина Т.Ю., Ризниченко Г.Ю., Аксенов С.И., Черняков Г.М.* Влияние слабого электрического воздействия на триггерную систему трансмембранного ионного переноса // Биофизика. – 1994. – Т. 39, №2. – С. 345–350.
33. *Гапеев А.Б., Сафронова В.Г., Чемерис Н.К., Фесенко Е.Е.* Модификация активности перитонеальных нейтрофилов мыши при воздействии миллиметровых волн в ближней и дальней зонах излучения // Биофизика. – 1997. – Т. 42, №2. – С. 1125–1134.
34. *Frohlich H.* Long-range coherence and energy storage in biological systems *Int // J. Quantum Chem.* – 1968. – 2. – P. 641–649.
35. *Бинги В.Н.* Физические механизмы магнитобиологических явлений: Автореф. дис. ... д.ф.-м.н. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 48 с.

36. Kordyum E., Bogatina N. Cyclotron-based effects on plant gravitropism M. Sobol [et al.] // Journal of Advances in Space Reseach. – 2007. – V. 39, №7. – P. 1210–1218.

37. Беикий О.В., Девятков Н.Д., Кислов В.В. Миллиметровые волны низкой интенсивности в медицине и биологии // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. – № 4.

38. Fesenko E.E., Gluvstein A.Ya. Changes in the state of water, Induced by radiofrequensy electromagnetic fields // FEBS Lett. – 1995. – V. 367. – P.53–55.

39. Лобышев В.И., Рыжиков Б.Д., Шухлинская Р.Э. и др. Собственная люминесценция воды в сильно разбавленных растворах дипептидов // Биофизика. – 1994. – Т.39, №4. – С. 565–570.

40. Сусак И.П., Шигаев А.С., Пономарев О.А., Фесенко Е.Е. Моделирование взаимодействия магнитного поля с объемными вязаными структурами // Математика, компьютер, образование. Ч. 2 / Под ред. Г.Ю. Ризниченко. – М.; Ижевск: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2002, – С.733–740.

Поступила в редакцию 04.08.2015

УДК (502.5:628.5):635.43

Влияние техногенного пылевого загрязнения на физиологические и цитогенетические характеристики семенного потомства лебеды раскидистой (*Atriplex patula* L.)

Г.В. Филиппова, И.А. Прокопьев, А.А. Шеин

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск

*Проведен сравнительный анализ физиологических и цитогенетических характеристик семенного потомства двух групп растений вида *Atriplex patula* L., произрастающих в условиях различных уровней пылевого техногенного загрязнения: 21 ± 1 и 843 ± 41 мг/(м²•сут). В образцах пыли, отобранных на участке с высокой степенью техногенной нагрузки, выявлено увеличение содержания меди в 1,7 раза, цинка в 1,5, кобальта в 2,0, стронция в 1,3 и свинца в 15,3 раза по сравнению с контролем. Показано, что повышенное содержание тяжелых металлов способно вызывать снижение показателей физиологических характеристик семенного потомства – всхожести на 80 % и длины корешка на 30 % относительно контроля. В клетках апикальной меристемы корешков проростков *A. patula* отмечено увеличение в 1,3 раза числа aberrантных клеток на фоне увеличения в 2,6 и 3,0 раза скорости включения ³H-тимидина и ¹⁴C-лейцина в клетки проростков соответственно относительно контроля.*

Ключевые слова: техногенное загрязнение, тяжелые металлы, семенное потомство, всхожесть, молекулярно-генетический аппарат, патологические митозы.

*A comparative analysis of the physiological and cytogenetic characteristics of two *Atriplex patula* seed progeny groups growing under different levels of anthropogenic dust pollution: 21 ± 1 and 843 ± 41 mg / (m² • d) is carried out. The dust samples collected at the site with a high degree of technological load showed an increase in the copper content of 1,7, zinc – 1,5, cobalt – 2,0, strontium – 1,3 and lead – 15,3 times in comparison with the control. It has been shown that high content of heavy metals is can cause a decline in physiological characteristics of seed progeny up to 80% of germination and 30% of the length of rootlets in comparison with control. In the cells of the apical meristem root of *A. patula* seedlings increase of 1,3 times of the number of aberrant cells on the background of increase of 2,6 and 3,0 times of the rate of incorporation of ³H-thymidine and ¹⁴C-leucine into the cells compared with the control seedlings is observed.*

Key words: technogenic pollution, heavy metals, seed progeny, germination, molecular genetic apparatus, abnormal mitosis.

ФИЛИППОВА Галина Валерьевна – к.б.н., с.н.с., nureeva@yandex.ru; ПРОКОПЬЕВ Илья Андреевич – к.б.н., с.н.с., a_prokopiev@mail.ru; ШЕИН Алексей Анатольевич – к.б.н., с.н.с., bg98saa@yandex.ru.