



- принципы эпизоотологического обследования их территории // Проблемы особо опасных инфекций. 1972. Вып. 5. С. 15–29.
11. Попов Н. В., Маренич Б. И., Куницина Р. Г., Щепотьев Н. В. К эпизоотологической оценке современного состояния поселений малого суслика в Северной части Ергеней // Проблемы особо опасных инфекций. 1976. Вып. 2. С. 16–21.
  12. Попов Н. В., Сурвилло А. В., Князева Т. В., Варшавский Б. С., Яковлев С. А. Биоценологические последствия антропогенной трансформации ландшафтов Черных Земель // Биота и природная среда Калмыкии. М.; Элиста: Коркис, 1995. С. 211–221.
  13. Фенюк Б. К. Влияние хозяйственной деятельности человека на численность сусликов // Вестн. микробиол., эпидемиол. и паразитол. Саратов, 1937. Т. 16, вып. 1–2. С. 243–254.
  14. Попов Н. В., Удовиков А. И., Санджиев В. Б.-Х., Яковлев С. А., Матросов А. Н., Болдырев В. А. Особые местообитания малого суслика *Spermophilus ruggmaeus* (Rodentia, Sciuridae) в зональных условиях степей и полупустынь ландшафтных зон Северного и Северо-Западного Прикаспия // Бюл. Бот. сада Саратов. гос. ун-та. 2006. Вып. 5. С. 156–163.
  15. Попов Н. В., Удовиков А. И., Яковлев С. А., Санджиев В. Б.-Х., Сангаджиева Г. В. Оценка влияния современного потепления климата на формирование нового природного очага чумы песчаночьего типа на территории европейского Юго-Востока России // Поволж. экол. журн. 2007. № 1. С. 34–43.
  16. Попов Н. В., Безсмертный В. Е., Топорков В. П., Матросов А. Н., Князева Т. В., Кузнецов А. А., Попов В. П., Вержуцкий Д. Б., Корзун В. М., Читанин Е. В., Дубянский В. М., Малецкая О. В., Григорьев М. П., Балахов С. В., Куличенко А. Н., Кутырев В. В. Эпизоотическая активность природных очагов чумы Российской Федерации в 2013 г. и прогноз на 2014 г. // Проблемы особо опасных инфекций. 2015. Вып. 1. С. 10–17.

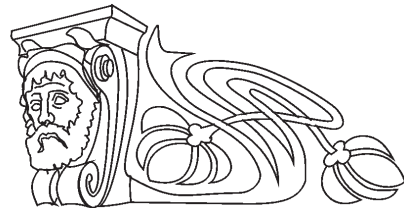
УДК 577.125.8:57.043

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МАЛОНООВОГО ДИАЛЬДЕГИДА В СЫВОРОТКЕ КРЫС, ОБЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Е. В. Богачева<sup>1</sup>, В. В. Алабовский<sup>1</sup>, С. Ю. Перов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Воронежская государственная медицинская академия им. Н. Н. Бурденко Министерства здравоохранения РФ

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт медицины труда, Москва  
E-mail: theorangenight@rambler.ru



Целью данной работы было исследование влияния различных интенсивностно-временных условий облучения электромагнитным полем (ЭМП) метрового диапазона длин волн на процессы инициации перекисного окисления липидов (ПОЛ). Экспозиция животных при различных уровнях напряженности ЭМП на частоте 171 МГц проводилась однократно в течение 1 и 3 часов. Для оценки протекающих процессов ПОЛ осуществлялось количественное определение малонового диальдегида в сыворотке облученных животных. Результаты исследований показали наличие статистически значимых биологических эффектов как при максимальных уровнях ЭМП в течение 1 ч, так и при снижении уровней экспозиции ЭМП в течение 3 ч.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, метровый диапазон частот, перекисное окисление липидов, окислительный стресс.

### The Malondialdehyde Assessment in the Blood Serum of Ultrahigh Frequency Electromagnetic Field Exposed Animals

E. V. Bogacheva, V. V. Alabovskiy, S. Yu. Perov

The goal of this research was lipid peroxidation process assessment for different levels of ultrahigh frequency electromagnetic field and different time exposure. There were animal 171 MHz one time exposures during

1 and 3 hours. In the blood serum of exposed animals the malondialdehyde concentration evaluated the lipid peroxidation process. The research results shown the statistically significant electromagnetic field biological effects as for maximum field strength 1 hour exposure, as lower field strength 3 hours exposure.

**Key words:** electromagnetic field, ultrahigh frequency, lipid peroxidation, oxidative stress.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-1-70-74

В настоящее время трудно найти такую сферу человеческой деятельности, в которой не наблюдалось бы постоянного увеличения и расширения области применения электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного диапазона (РЧ). Взаимодействие ЭМП с биологическими объектами приводит к поглощению в них части энергии поля, вследствие чего могут возникать биологические эффекты облучения. Количественной характеристикой поглощения энергии ЭМП является общепризнанная величина удельной поглощенной мощности (УПМ), выражаемая в Вт/кг [1, 2].



В связи с неспецифическим влиянием ЭМП ниже порога теплового действия на высокоорганизованные биологические объекты широкое распространение получили наиболее чувствительные к воздействию низкоинтенсивных уровней облучения биохимические методы, направленные на изучение процессов окислительного стресса.

Подавляющее число экспериментальных исследований, описанных в научной литературе, направлено на выявление изменений в характере перекисного окисления липидов (ПОЛ) биологических объектов, подверженных ЭМП в диапазоне частот работы мобильных телефонов (900/1800 МГц) [3, 4], тогда как биологические эффекты других частотных диапазонов ЭМП изучены мало, несмотря на высокую биологическую активность и, как следствие, более низкие предельно допустимые уровни [2, 5, 6].

Для оценки интенсивности ПОЛ широко используется количественное определение (концентрация) малонового диальдегида ( $C_{\text{МДА}}$ ), который реагирует с тиобарбитуровой кислотой (ТБК), образуя комплекс активных продуктов (ТБК-АП) [7]. Накопление ТБК-АП в тканях является одним из показателей нарушения окислительно-восстановительного состояния и является методом раннего выявления метаболических нарушений в организме [8]. Следует учесть, что некоторые авторы отметили увеличение содержания количества продуктов ПОЛ ( $C_{\text{МДА}}$ ) с одновременным подавлением общей антиокислительной активности при определенном (фиксированном) времени экспозиции и уровнях ЭМП РЧ [9–11].

Так, при воздействии на лабораторных крыс ЭМП с частотой 900 МГц (УПМ 0,02 Вт/кг) в течение 10 дней по 30 мин ежедневно наблюдалось достоверное увеличение  $C_{\text{МДА}}$  и оксида азота в тканях головного мозга [12]. Облучение сперматозоидов человека *in vitro* ЭМП с частотой 1800 МГц в диапазоне УПМ от 0,4 до 27,5 Вт/кг в течение 16 ч приводило к достоверному увеличению содержания активных форм кислорода. При этом достоверное увеличение содержания активных форм кислорода наблюдалось при УПМ 1 Вт/кг [13].

#### Материалы и методы

Объектом исследований служили самцы белых нелинейных лабораторных крыс, массой 200–230 г, которых облучали ЭМП метрового диапазона.

В качестве источника экспозиции использовались носимые радиостанции «Радий-301» (Ижевский радиозавод, Россия), работающие на частоте 171 МГц с максимальной выходной мощностью 5 Вт. Определение и контроль среднеквадратичной величины напряженности электрической составляющей ЭМП были выполнены с помощью широкополосного измерителя «Narda NBM-550» (Германия) и системы автоматизированного сканирования DASY 52 NEO (SPEAG AG, Швейцария).

Наиболее приемлемым методом определения значений УПМ в биообъектах является теоретическая (численная) дозиметрия, которая осуществлялась с использованием программой среды компьютерного моделирования SEMCAD X v. 18.2 (SPEAG AG, Швейцария) посредством метода конечных разностей во временной области (КРВО) [14]. Для вычисления значений УПМ были разработаны модель источника ЭМП, работающего на частоте 171 МГц. Численные фантомы животных (самцы крыс массой 198 г) располагались в областях, где средняя напряженность электрического поля составляла 10, 30, 60 и 90 В/м. Для вычисления значений УПМ диэлектрические свойства всех тканей были получены с использованием базы данных Gabriel [15].

Для биологического эксперимента животные случайным образом были распределены на 16 групп по 12 крыс в каждой группе. Исследования включали 4 серии экспериментов, в которых крысы подвергались облучению ЭМП РЧ с напряженностью 10, 30, 60 и 90 В/м в течение 1 и 3 ч, для каждой группы животных соответствовал свой контроль. Во время облучения животные размещались в специальных радиопрозрачных контейнерах животом с фиксацией к источнику ЭМП.

Для изучения процессов перекисного окисления липидов использовалось определение  $C_{\text{МДА}}$  в сыворотке крови по методу M. Uchiyama, M. Mihara [16]. Кровь собирали в пробирки с добавлением 1,5 мл цитрата натрия на 5 мл крови, охлаждали и центрифугировали 15 мин со скоростью 1500 об/мин. К 3 мл 1,4% ортофосфорной кислоты добавляли 0,25 мл сыворотки крови, затем приливали 1 мл 0,5 % раствора ТБК и на 45 мин помещали в кипящую водяную баню. Пробы охлаждали, добавляли 4 мл бутанола и встряхивали в течение 1 мин до образования суспензии. После центрифугирования супернатант фотометрировали на спектрофотометре при двух



длинах волн 535 нм и 570 нм против холостой пробы в кювете с длиной оптического пути 1 см. Расчет содержания ТБК-АП производили по формуле

$$C_{\text{МДА}} = \frac{D_{535} - D_{570}}{0,156} \times 16,$$

где  $C_{\text{МДА}}$  – содержание ТБК-АП в опытной пробе (мкмоль/л);  $D_{535}$  – оптическая плотность опытной пробы при 535 нм;  $D_{570}$  – оптическая плотность опытной пробы при 570 нм; 0,156 – коэффициент молярной экстинкции комплекса МДА-ТБК в л/мкмоль/см; 16 – коэффициент разведения сыворотки крови.

Эксперименты проводились на лабораторных животных в соответствии с современными требованиями правил лабораторной практики по экспериментальному (доклиническому) исследованию в РФ (ГОСТ 351000.3-96 и 51000.4-96).

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием критерия Стьюдента в вычислительной среде Statistica (StatSoft.Inc, США).

## Результаты и их обсуждение

Теоретическое моделирование позволило установить усредненные на массу тела величины УПМ, которые зависели от значений напряженности электрического поля. Результаты расчетов показали, что при 10 В/м средняя удельная поглощенная мощность (УПМ<sub>ср</sub>) составляет 0,3 мВт/кг, при 30 В/м – 1,1 мВт/кг, при 60 В/м – 2,6 мВт/кг, и при 90 В/м – 4,5 мВт/кг.

В результате проведенных экспериментов было установлено изменение протекающих процессов ПОЛ. При облучении животных в течение 1 ч ЭМП с напряженностью 90 В/м наблюдались статистически значимые различия ( $p < 0,0001$ ) по сравнению с контролем, которые характеризовались увеличением уровней  $C_{\text{МДА}}$  в сыворотке крови облученных животных (рис. 1). При уровнях 10–60 В/м наблюдалось небольшое увеличение  $C_{\text{МДА}}$  в сыворотке облученных животных, однако достоверных различий отмечено не было.

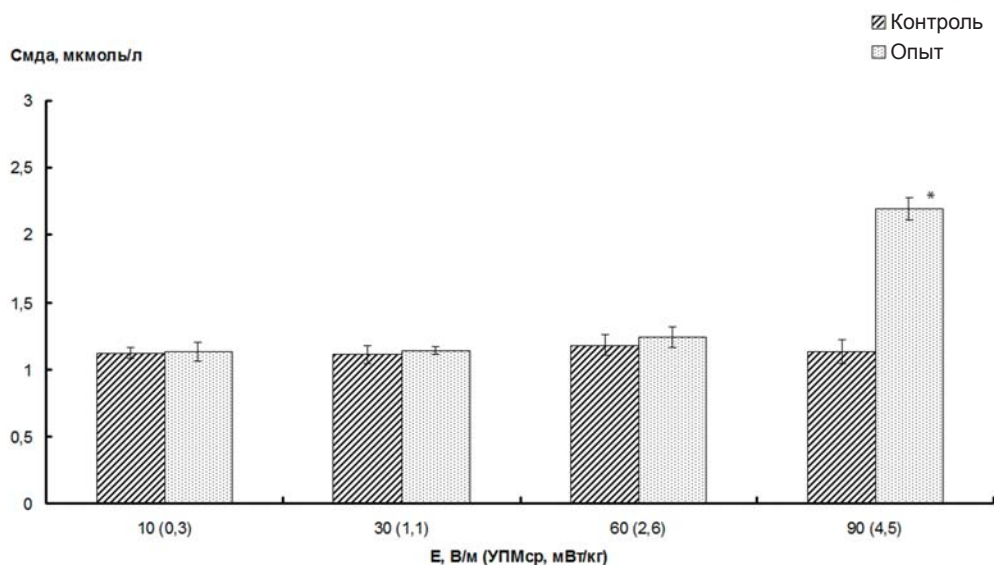


Рис. 1. Изменение  $C_{\text{МДА}}$  при облучении различными уровнями напряженности электрического поля в течение 1 ч, \* –  $p < 0,0001$

При увеличении времени экспозиции до 3 ч  $C_{\text{МДА}}$  в сыворотке крови облученных животных статистически значимо увеличивались уже при напряженности электрического поля 30 В/м ( $p < 0,05$ ), а при напряженностях 60 и 90 В/м уровни  $C_{\text{МДА}}$  достигли большей достоверности различий ( $p < 0,0001$ ) (рис. 2). При уровнях экспозиции животных 10 В/м в течение 3 ч статистически достоверных различий не наблюдалось.

При метаболизме в организме постоянно протекают процессы окисления липидов и антиоксидантной защиты. Активизация перекисных свободно-радикальных процессов лежит в основе развития практически всех заболеваний и может рассматриваться как неспецифический фактор патогенеза большинства заболеваний и функциональных состояний организма при любых неблагоприятных воздействиях на организм [17]. В соответствии с действующими в

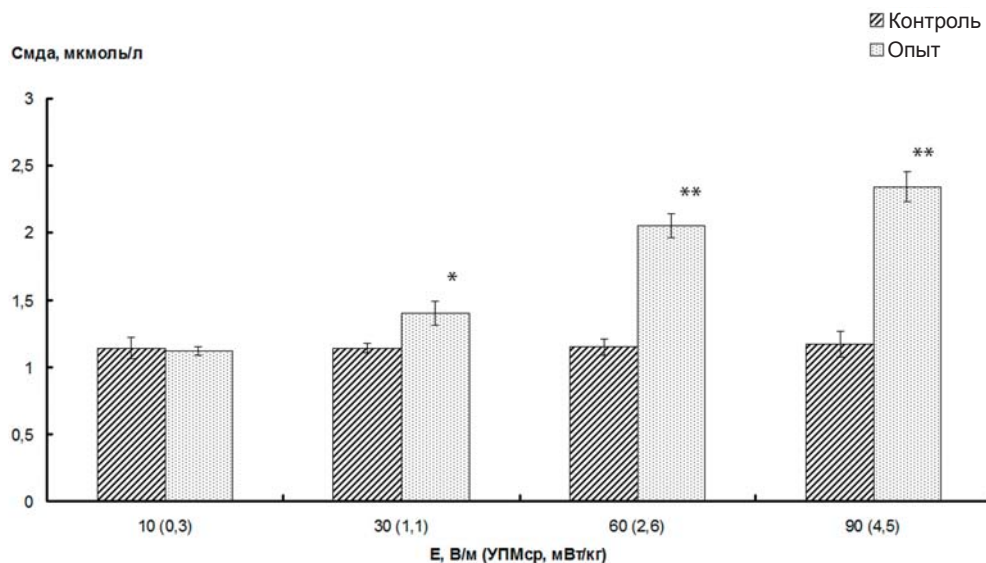


Рис. 2. Изменение  $C_{\text{МДА}}$  при облучении различными уровнями напряженности электрического поля в течение 3 ч: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,0001$

настоящее время российскими гигиеническими нормативами и стандартами безопасности практически всех зарубежных стран метровый диапазон частот (30–300 МГц) считается наиболее неблагоприятным по сравнению с другими частотами [5, 6].

При напряженности электрической составляющей ЭМП 10 В/м, не превышающей установленных ПДУ, и независимо от длительности экспозиции каких-либо статистически значимых изменений в количестве продуктов ПОЛ установлено не было. Однако при превышении ПДУ в 2 раза статистически значимое увеличение  $C_{\text{МДА}}$  по сравнению с контрольной группой наблюдалось только у тех животных, которые подвергались воздействию ЭМП в течение 3 ч, а при увеличении напряженности электрической составляющей до 60 В/м достоверность полученных биологических эффектов выросла. Независимо от времени экспозиции статистически достоверный биологический эффект наблюдался при уровнях напряженности электрического поля, превышающих ПДУ в 6 раз (90 В/м). Полученные результаты исследований хорошо согласуются с результатами экспериментальных данных для более высоких частотных диапазонов [4, 9, 13].

### Выводы

Результаты, представленные в данном экспериментальном исследовании, показывают, что определяющим параметром экспозиции ЭМП метрового диапазона длин волн, влияющим на возможные неблагоприятные биологические эффекты, является время облучения биологического объекта. Порог биологической чувстви-

тельности для частоты 171 МГц при экспозиции ЭМП животного более 1 ч находится в пределах от 60 до 90 В/м. Под воздействием ЭМП нетепловых интенсивностей не менее 3 ч при УПМ выше 1 мВт/кг наблюдаются достоверные метаболические изменения в клетках, что свидетельствует о потенциально высокой биологической активности, выраженной в стрессовом воздействии фактора на клетку.

### Список литературы

1. Кудряшов Ю. Б., Перов Ю. Ф., Рубин А. Б. Радиационная биофизика : радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения : учебник для вузов. М. : Физматлит, 2008.
2. Guideline I.C.N.I.R.P. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection // Health Phys. 1998. Vol. 74, № 4. P. 494–522.
3. Megha K., Deshmukh P. S., Banerjee B. D., Tripathi A. K., Abegaonkar M. P. Microwave radiation induced oxidative stress, cognitive impairment and inflammation in brain of Fischer rats // Indian Journal of Experimental Biology. 2012. Vol. 50. P. 889–896.
4. Çenesiz M., Atakişi O., Akar A., Önbilgin G., Ormanci N. Effects of 900 and 1800 MHz electromagnetic field application on electrocardiogram, nitric oxide, total antioxidant capacity, total oxidant capacity, total protein, albumin and globulin levels in guinea pigs // J. Veterinary Med. Fac. Kafkas Univ. 2011. T. 17, № 3. C. 357–362.
5. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. М. : ФЦ ГСЭН Минздрава России, 2003. 22 с.



5. Directive E. U. Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). Eighteenth individual Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391/EEC // Off J Europe Union. 2004. Vol. 159. P. 1–9.
6. Стальная И. Д., Гаришвили Т. Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты // Современные методы в биохимии. М. : Медицина, 1977. С. 66–68.
7. Арутюнян А. В., Дубинина Е. Е., Зыбина Н. Н. Методы оценки свободнорадикального окисления и антиоксидантной системы организма. СПб. : ИКФ «Фолиант», 2000. С. 93–94.
8. De Iuliis G. N., Newey R. J., King B. V., Aitken R. J. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro // PloS one. 2009. Vol. 4, № 7. P. e6446.14.
9. Mohamed F. A., Ahmed A. A., El-Kafoury B. M., Lasheen N. N. Study of the cardiovascular effects of exposure to electromagnetic field // Life Science Journal. 2011. Vol. 8, № 1. P. 260–274.
10. Moustafa Y. M., Moustafa R. M., Belacy A., Abou-El-Ela S. H., Ali F. M. Effects of acute exposure to the radiofrequency fields of cellular phones on plasma lipid peroxide and antioxidant activities in human erythrocytes // Journal of pharmaceutical and biomedical analysis. 2001. Vol. 26, № 4. С. 605–608.
11. Перов С. Ю., Богачева Е. В., Лазаравили Н. А., Безрукавникова Л.М. Экспериментальное исследование влияния электромагнитных полей метрового диапазона на некоторые показатели окислительного стресса // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2015. Т. 15, вып. 3. С. 44–47.
12. Kerman M., Senol N. Oxidative stress in hippocampus induced by 900 MHz electromagnetic field emitting mobile phone : Protection by melatonin // Biomedical Research. 2012. Vol. 23, № 1. P. 147–151.
13. De Iuliis G. N., Newey R. J., King B. V., Aitken R. J. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro // PloS one. 2009. Vol. 4, № 7. P. e6446.
14. Yee K. S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media // IEEE Trans. Antennas Propag. 1966. Vol. 14, № 3. P. 302–307.
15. Gabriel C. Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies // Report N.AL/OE-TR-1996-0037. Occupational and environmental health directorate, Radiofrequency Radiation Division, Brooks Air Force Base, Texas (USA), 1996.
16. Uchiyama M., Mihara M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test // Anal. Biochem. 1978. Vol. 86, № 1. P. 271–278.
17. Valko M., Leibfritz D., Moncol J., Cronin M. T., Mazur M., Telser J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease // The Intern. J. of Biochem. and Cell Biol. 2007. Vol. 39, № 1. P. 44–84.

УДК 581.143.6

## ОСОБЕННОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕПОНИРОВАНИЯ КУЛЬТУРЫ *IN VITRO* НЕКОТОРЫХ РЕДКИХ И ИСЧЕЗАЮЩИХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. А. Крицкая, А. С. Кашин

УНЦ «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского  
E-mail: kritckaiata@gmail.com, kashinas2@yandex.ru



Представлены результаты работ по сохранению культур тканей и органов редких и исчезающих видов растений в условиях замедленного роста. Особое внимание уделено модельным объектам – *Silene cretacea* и *Potentilla vulgarica* – облигатным кальцефитам, включенным в Красную книгу Российской Федерации. Замедление роста эксплантов обеспечивали за счёт снижения температуры культивирования до  $+5\pm 1$  °С и внесения в питательную среду осмотика (сахароза 30, 60 или 90 г/л), ретарданта (хлорхолинхлорид) и/или сорбента (активированный уголь). Установлено, что депонирование культуры *S. cretacea* на среде WPM + 30 г/л сахарозы без дополнительных модификаций сохраняет её жизнеспособность в течение 6 месяцев экспозиции. Увеличение срока хранения до 12 месяцев приводило к снижению морфогенетического потенциала эксплантов, которое менее всего было выражено в варианте с 90 г/л сахарозы. Для культуры *P. vulgarica* такая же концентрация оказалась губительной. 60 г/л сахарозы было достаточно, чтобы поддерживать жизнеспособ-

ность эксплантов в течение 12 месяцев без пересадки и сдерживать их рост. Использование способа депонирования растений в условиях *in vitro* позволило создать генетический банк редких представителей флоры Саратовской области в виде медленно растущей коллекции.

**Ключевые слова:** *Silene cretacea*, *Potentilla vulgarica*, генетический банк *in vitro*, депонирование, редкие и исчезающие виды.

### Features of *in vitro* Cold Storage of Some of Rare and Endangered Plants of Saratov Region

T. A. Kritskaya, A. S. Kashin

The article presents the results of work on preservation of plant tissues and organs of rare and endangered species in conditions of slow growth. Special attention is paid to modeling objects, *Silene cretacea* and *Potentilla vulgarica* – obligate calcifythes enlisted in the