

УДК 612.014.42:591.112.1:594.1

УЧАСТИЕ МЕЛАТОНИНА В ИЗМЕНЕНИИ ДЕПРЕССИВНОПОДОБНОГО И АГРЕССИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ КРЫС ПРИ УМЕРЕННОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ЭКРАНИРОВАНИИ

© 2016 г. Н.А. Темурьянц¹, К.Н. Туманянц^{2,1}, Д.Р. Хусаинов¹, И.В. Черетаев^{2,1},
Е.Н. Туманянц³

¹ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Республика Крым, Россия

² Научно-исследовательский центр экспериментальной физиологии и биотехнологии
Таврической академии Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского,
г. Симферополь, Республика Крым, Россия

³ Симферопольская клиническая больница, г. Симферополь, Республика Крым, Россия

Установлено, что умеренное электромагнитное экранирование, при котором ослабляются постоянная и переменная компоненты геомагнитного поля (19 ч в сутки в течение 10 дней), вызывает у самцов крыс развитие депрессивноподобного поведения, диагностируемого по увеличению времени пассивного и снижению продолжительности активного плавания в тесте Порсолта, и возрастание внутривидовой агрессивности. Эти отклонения в поведении максимально выражены на 3–4-е сутки эксперимента. Ежедневное введение животным экзогенного мелатонина в дозе 1 мг/кг нивелирует развитие депрессивноподобного поведения уже в 1-й день опыта и этот эффект сохраняется во все сроки экспериментов. Уровень внутривидовой агрессивности у крыс при экранировании и введении мелатонина в дозе 1 мг/кг не изменяется. Увеличение дозы вводимого мелатонина до 5 мг/кг еще больше снижает уровень депрессивности и ликвидирует возрастание внутривидовой агрессии во все сроки эксперимента. Делается вывод о важной роли мелатонина в механизмах физиологического действия ослабленного геомагнитного поля.

Ключевые слова: электромагнитное экранирование, депрессивноподобное поведение, внутривидовая агрессивность, мелатонин, тест «вынужденное плавание».

PACS: 87.50.C + 87.19.La

Литература

- Абу-Хадда Р.Х. Реакции тучных клеток на действие слабых магнитных полей крайне низких частот: Автореф. ... канд. биол. наук. 2003. 20 с.
- Анисимов В.Н. Эпифиз, мелатонин, старение // Хронобиология и хрономедицина: Руководство. М.: ООО Мед. информ. агентство, 2012. С. 284–333.
- Арушанян Э.Б. Эпифиз и депрессия // Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 1991. Т. 91, № 6. С. 108–112.
- Белова Н.А., Ермаков А.М., Знобищева А.В., Сребницкая Л.К., Леднёв В.В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на регенерацию планарий и гравитационную реакцию растений // Биофизика. 2010. Т. 55, № 4. С. 704–709.
- Бинги В.Н. Ядерные спины в первичных механизмах биологического действия магнитных полей // Биофизика. 1995. Т. 40, № 3. С. 677–691.
- Буреш Я., Бурешова О., Хьюстон Д.П. Агрессия, вызванная болью // Методики и основные эксперименты по изучению мозга и поведения. М.: Высш. шк., 1991. С. 130–131.
- Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу. М.: МНЭПУ, 2000. 374 с.
- Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Кузьменко Т.С. Антистрессорные реакции и активационная терапия. М.: Имедис, 1998. 651 с.
- Григорьев Ю.Г. Реакция организма в ослабленном геомагнитном поле. Эффект магнитной депривации // Радиц. биология. Радиоэкология. 1995. Т. 35, № 1. С. 3–18.
- Гурфинкель Ю.И., Любимов В.В. Применение пассивного экранирования для защиты пациентов с ишемической болезнью сердца от воздействия геомагнитных возмущений // Биофизика. 1998. Т. 43, № 5. С. 827–832.
- Девцин Д.В., Пальчикова Н.А., Трофимов А.В., Селятицкая В.Г., Казначеев В.П. Динамика физиологических характеристик и эмоционально-поведенческой реактивности животных в преформированной геомагнитной среде // Бюл. СО РАМН. 2005. Т. 25, № 3. С. 71–77.
- Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123). Заключена в г. Страсбург 18 марта 1986 г. Гл. III, ст. 6. URL: base.garant.ru/4090914
- Замощина Т.А., Кривова Н.А., Ходанович М.Ю., Труханов К.А., Тухватулин Р.Т., Заева О.Б., Зеленская А.Е., Гуль Е.В. Влияние моделируемых гипомагнитных условий дальнего космического полета на ритмическую организацию поведенческой активности крыс // Авиакос. и экол. медицина. 2012. Т. 46, № 1. С. 17–23.
- Заславская Р.М. Оптимизация лечения метео- и магниточувствительных больных артериальной гипертензией и ишемической болезнью сердца с использованием адаптогенов. М.: Мед-практика, 2012. 256 с.
- Исмаилов В.А., Кошелевский В.К. Влияние вариаций геомагнитного поля на циркадианную активность эпифиза // Проблемы геронтологии. 2008. Т. 21, № 3. С. 382–385.
- Макеев В.Б., Темурьянц Н.А. Исследование частотной зависимости биологической эффективности магнитного поля в диапазоне геомагнитного поля (0.01–100 Гц) // Проблемы космической биологии. 1982. Т. 43. С. 116–128.
- Маркель А.Л. К оценке основных характеристик поведения крыс в тесте «открытое поле» // Журн. высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 1981. Т. 31, № 2. С. 301–307.
- Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А. Магнитные поля крайне низкой частоты как фактор модуляции и синхронизации инфраничных биоритмов у животных // Геофизические процессы и биосфера. 2009. Т. 8, № 1. С. 36–50.
- Мартынюк В.С., Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Биологические ритмы и электромагнитные поля среды обитания // Геофизические процессы и биосфера. 2006. Т. 5, № 1. С. 5–23.

- Михайлов А.В. Функциональная морфология нейтрофилов крови крыс в процессе адаптации к гипокинезии: Автореф. ... канд. биол. наук. М., 1985. 25 с.
- Ораевский В.Н., Бреус Т.К., Баевский Р.М., Рапопорт С.И., Петров В.М., Барсукова З.В., Гурфинкель Ю.И., Рогоза А.Т. Влияние геомагнитной активности на функциональное состояние организма // Биофизика. 1998. Т. 43, № 5. С. 819–826.
- Рапопорт С.И., Голиченков В.А. Мелатонин: теория и практика. М.: Медпрактика, 2009. 100 с.
- Рапопорт С.И., Бреус Т.К. Мелатонин как один из важнейших факторов воздействия слабых естественных электромагнитных полей на больных гипертонической болезнью и ишемической болезнью сердца. Ч. 1 // Клиническая медицина. 2011а. Т. 89, № 3. С. 9–14.
- Рапопорт С.И., Бреус Т.К. Мелатонин как один из важнейших факторов воздействия слабых естественных электромагнитных полей на больных гипертонической болезнью и ишемической болезнью сердца. Ч. 2 // Клиническая медицина. 2011б. Т. 89, № 4. С. 4–7.
- Рапопорт С.И., Большакова Н.Д., Малиновская Н.К., Мещерякова С.А., Ораевский В.Н., Бреус Т.К., Сосновский А.М. Магнитные бури как стресс // Биофизика. 1998. Т. 43, № 4. С. 632–639.
- Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. М.: Медицина, 1960. 254 с.
- Темурьянц Н.А. О биологической эффективности слабого ЭМП инфранизкой частоты // Проблемы космической биологии. 1982. Т. 43. С. 128–139.
- Темурьянц Н.А., Демцун Н.А. Сезонные различия регенерации планарий в условиях многодневного электромагнитного экранирования // Биофизика. 2010. Т. 55, № 4. С. 710–714.
- Темурьянц Н.А., Костюк А.С. Воздействие переменного магнитного поля крайне низкой частоты на активность опиоидной системы моллюсков, находящихся в условиях длительного электромагнитного экранирования // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14, № 1. С. 42–52.
- Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. К.: Наук. думка, 1992. 187 с.
- Темурьянц Н.А., Костюк А.С., Туманянц К.Н. Участие мелатонина в изменении ноцицепции моллюсков и мышей при длительном электромагнитном экранировании // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2013. Т. 99, № 11. С. 1333–1341.
- Темурьянц Н.А., Костюк А.С., Туманянц К.Н. Электромагнитное экранирование изменяет поведение крыс // Журн. высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2015. Т. 65, № 2. С. 222–229.
- Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В., Мартынюк В.С. Роль некоторых компонентов диффузной нейроэндокринной системы в реализации магнитобиологических воздействий // Биофизика. 2001. Т. 46, вып. 5. С. 901–904.
- Ходанович М.Ю., Гуль Е.В., Зеленская А.Е., Пан Э.С., Кривова Н.А. Влияние длительного ослабления геомагнитного поля на агрессивность лабораторных крыс и активацию опиоидергических нейронов // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2013. № 1 (21). С. 146–160.
- Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 367 с.
- Щетинин Е.В., Батулин В.А., Арушанян Э.Б., Ованесов К.Б., Попов А.В. Биоритмологический подход к оценке принудительного плавания как экспериментальной модели «депрессивного» состояния // Журн. высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 1989. Т. 39, № 5. С. 958–964.
- Bakos J., Nagy N., Thuróczy G., Szabó L.D. Sinusoidal 50 Hz, 500 microT magnetic field has no acute effect on urinary 6-sulphatoxymelatonin in Wistar rats // Bioelectromagnetics. 1995. V. 16, is. 6. P. 377–380.

- Bakos J., Nagy N., Thuróczy G., Szabó L.D.* Urinary 6-sulphatoxymelatonin excretion is increased in rats after 24 hours of exposure to vertical 50 Hz, 100 microT magnetic field // *Bioelectromagnetics*. 1997. V. 18, is. 2. P. 190–192.
- Baler R., Coon S., Klein D.S.* Orphan nuclear receptor RZR-beta-cyclic-AMP regulates expression in the pineal gland // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1996. V. 220. P. 975–978.
- Beck-Friis J., Kjellman B.F., Aperia B., Uden F., von Rosen D., Ljunggren J.-G., Wetterberg L.* Serum melatonin in relation to clinical variables in patients with major depressive disorder and a hypothesis of a low melatonin syndrome // *Acta Psychiatr. Scand.* 1985. V. 71, is. 4. P. 319–330.
- Binhi V.N.* Theoretical concepts in magnetobiology // *Electro Magnetobiol.* 2001. V. 20, N 1. P. 43–58.
- Binhi V.N.* Magnetobiology: Underlying physical problems. San Diego: Acad. Press, 2002. 473 p.
- Bliss V.L., Heppner F.H.* Circadian activity rhythm influenced by near zero magnetic field // *Nature*. 1976. V. 261, is. 5559. P. 411–412.
- Brown S.L., Steinberg R.L., Van Praag H.M.* The pathogenesis of depression: Reconsideration of neurotransmitter data. Handbook of depression and anxiety: a biological approach. N.Y.: Marcel Dekker, 1994. P. 317–347.
- Burch J.B., Reif J.S., Yost M.G.* Geomagnetic disturbances are associated with reduced nocturnal excretion of a melatonin metabolite in humans // *Neurosci. Lett.* 1999. V. 266. P. 209–212.
- Burch J.B., Reif J.S., Yost M.G.* Geomagnetic activity and human melatonin metabolite excretion // *Neurosci. Lett.* 2008. V. 438. P. 76–79.
- Burch J.B., Reif J.S., Noonan C.W., Yost M.G.* Melatonin metabolite levels in workers exposed to 60-Hz magnetic fields: work in substations and with 3-phase conductors // *J. Occup. Environ. Med.* 2000. V. 42. P. 136–142.
- Cashmore A., Jarillo J., Wu Y.-J., Liu D.* Cryptochromes: Blue light receptors for plants and animals // *Science*. 1999. V. 284. P. 760–765.
- Cherry N.* Schumann resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of solar/geomagnetic activity // *Natural Hazards*. 2002. V. 26. P. 279–331.
- Close J.* Are stress responses to geomagnetic storms mediated by the cryptochrome compass system? // *Proc. Biol. Sci.* 2012. V. 279, is. 1736. P. 2081–2090.
- Close J.* The compass within the clock. Pt. 1. The hypothesis of magnetic fields as secondary zeitgebers to the circadian system-logical and scientific objections // *Hypothesis*. 2014. V. 12, is. 1. e. 1.
- Cremer-Bartels G., Krause K., Kuchle H.J.* Influence of low magnetic-field-strength variations on the retina and pineal gland of quail and humans // *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 1983. V. 220, is. 5. P. 248–252.
- Cremer-Bartels G., Krause K., Mitoskas G., Brodersen D.* Magnetic field of the Earth as additional zeitgeber for endogenous rhythms? // *Naturwissenschaften*. 1984. V. 71, is. 11. P. 567–574.
- Directive 2010/63/EU of the European parliament and of the council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes // *Off. J. of the Europ. Union*. 20.10.2010. P. L276/33–L276/53. URL: [eur=lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:276:0033:0079:EN:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:276:0033:0079:EN:PDF)
- Dowse H.B., Palmer J.D.* Entrainment of circadian activity rhythms in mice by electrostatic fields // *Nature*. 1969. V. 222, is. 5193. P. 564–566.
- Engelmann W., Hellrung W., Johnsson A.* Circadian locomotor activity of *Musca* flies: Recording method and effects of 10 Hz square-wave electric fields // *Bioelectromagnetics*. 1996. V. 17, is. 2. P. 100–110.
- Erren T.C., Reiter R.J.* Melatonin: a universal time messenger // *Neuro Endocrinol Lett.* 2015. V. 36, is. 3. P. 187–192.

- Kalsbeek A., Verhagen L.A., Schalij I., Foppen E., Saboureau M., Bothorel B., Buijs R.M., Pévet P.* Opposite actions of hypothalamic vasopressin on circadian corticosterone rhythm in nocturnal versus diurnal species // *Eur J. Neurosci.* 2008. V. 27. P. 818–827.
- Kato M., Honma K., Shigemitsu T., Shiga Y.* Effects of exposure to a circularly polarized 50-Hz magnetic field on plasma and pineal melatonin levels in rats // *Bioelectromagnetics.* 1993. V. 14, is. 2. P. 97–106.
- Kay R.W.* Geomagnetic storms: Association with incidence of depression as measured by hospital admission // *Br. J. Psychiatry.* 1994. V. 164. P. 403–409.
- Kitaoka K., Kitamura M., Aoi S., Shimizu N., Yoshizaki K.* Chronic exposure to an extremely low-frequency magnetic field induces depression-like behaviour and corticosterone secretion without enhancement of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in mice // *Bioelectromagnetics.* 2013. V. 34, is. 1. P. 43–51.
- Kleimenova N.G., Troitskaia V.A.* Geomagnetic pulsations as one of ecological environment factors // *Biofizika.* 1992. V. 37. P. 429–438.
- Krylov V.V., Ushakova N.V., Izyumov Y.G., Kuz'mina V.V., Morozov A.A., Osipova E.A., Zotov O.D., Klain B.I., Kantserova N.P., Lysenko L.A., Nemova N.N., Znobisheva A.V.* An experimental study of the biological effects of geomagnetic disturbances: The impact of a typical geomagnetic storm and its constituents on plants and animals // *J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 2014. V. 110–111. P. 28–36.
- Kumlin T., Heikkinen P., Laitinen J.T., Juutilainen J.* Exposure to a 50-Hz magnetic field induces a circadian rhythm in 6-hydroxymelatonin sulfate excretion in mice // *J. Radiat. Res.* 2005. V. 46. P. 313–318.
- Lerchl A., Zachmann A., Ather Ali M., Reiter R.J.* The effects of pulsing magnetic fields on pineal melatonin synthesis in a teleost fish (brook trout, *Salvelinus fontinalis*) // *Neurosci. Lett.* 1998. V. 256. P. 171–173.
- Lewczuk B., Redlarski G., Żak A., Ziółkowska N., Przybylska-Gornowicz B., Krawczuk M.* Influence of electric, magnetic, and electromagnetic fields on the circadian system: Current stage of knowledge // *BioMed Res. Intern.* 2014. V. 2014. P. 13.
- Malhotra S., Sawhney G., Pandhi P.* The therapeutic potential of melatonin: a review of the science // *MedGenMed.* 2004. V. 6, is. 2. P. 46.
- Manchester L.C., Coto-Montes A., Boga J.A., Andersen L.P., Zhou Z, Galano A, Vriend J, Tan D.X., Reiter R.J.* Melatonin: an ancient molecule that makes oxygen metabolically tolerable // *J. Pineal Res.* 2015. V. 59, N 4. P. 403–419.
- Mulligan B.P., Gang N., Parker G.H., Persinger M.A.* Magnetic field intensity/melatonin-molarity interactions: Experimental support with planarian (*Dugesia sp.*) activity for a resonance-like process // *Open J. of Biophysics.* 2012. V. 2. P. 137–143.
- Munro S., Lewin S., Swart T., Volmink J.* A review of health behaviour theories: How useful are these for developing interventions to promote long-term medication adherence for TB and HIV/AIDS? // *BMC Public Health.* 2007. V. 7. P. 104.
- Nolan K.A., Citrome L.* Reducing inpatient aggression: does paying attention pay off? // *J. Article Psychiat. Quart.* 2008. V. 79, is. 2. P. 91–95.
- Olcese J., Reuss S.* Magnetic field effects on pineal gland melatonin synthesis: Comparative studies on albino and pigmented rodents // *Brain Res.* 1986. V. 369. P. 365–368.
- Pacchierotti C., Iapichino S., Bossini L., Pieraccini F., Castrogiovanni P.* Melatonin in psychiatric disorders: A review on the melatonin involvement in psychiatry // *Front Neuroendocrinol.* 2001. V. 22. P. 18–32.
- Pflugger D.H., Minder C.E.* Effects of exposure to 16.7 Hz magnetic fields on urinary 6-hydroxymelatonin sulfate excretion of Swiss railway workers // *J. Pineal Res.* 1996. V. 21, is. 2. P. 91–100.
- Polk G., Fitchen F., Schumann W.O.* Resonances of ears ionosphere cavity – extremely low frequency reception at Kingston // *Radio Propagation.* 1962. V. 3, is. 66. P. 313.

- Poole C., Kavet R., Funch D.P., Donelan K., Charry J.M., Dreyer N.A. Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternating current transmission line right-of-way // *Amer. J. Epidemiol.* 1993. V. 137, is. 3. P. 318–330.
- Porsolt R.D., Pinchon M.L. Depression: a new animal model sensitive to antidepressant treatments // *Nature.* 1977. V. 266. P. 730–732.
- Qin C., Evans J.M., Yamanashi W.S., Sherlang B.I., Foreman R.D. Effects on rats of low intensity and frequency electromagnetic field stimulation on thoracic spinal neurons receiving noxious cardiac and esophageal inputs // *Neuromodulation.* 2005. V. 8. P. 79.
- Rabe-Jablonska J., Szymanska A. Diurnal profile of melatonin in the acute phase of major depression and in remission // *Med. Sci. Monit.* 2001. V. 7. P. 946–952.
- Reiter R.J. Static and extremely low frequency electromagnetic field exposure: reported effects on the circadian production of melatonin // *J. Cell. Biochem.* 1993. V. 51. P. 394–403.
- Reiter R.J., Anderson L.E., Buschbom R.L., Wilson B.W. Reduction of the nocturnal rise in pineal melatonin levels in rats exposed to 60-Hz electric fields in utero and for 23 days after birth // *Life Sci.* 1988. V. 42, is. 22. P. 2203–2206.
- Reuss S., Olcese J. Magnetic field effects on the rat pineal gland: Role of retinal activation by light // *Neurosci. Lett.* 1986. V. 64. P. 97–101.
- Ritz T., Adem S., Schulten K. A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds // *Biophys. J.* 2000. V. 78. P. 707–718.
- Rööslä M., Lörtcher M., Egger M., Pflugger D., Schreier N., Lörtcher E., Locher P., Spoerri A., Minder C. Mortality from neurodegenerative disease and exposure to extremely low-frequency magnetic fields: 31 years of observations on Swiss railway employees // *Neuroepidemiology.* 2007. V. 28, is. 4. P. 197–206.
- Rosenspire A.J., Kindzelskii A.L., Petty H.R. Pulsed DC electric fields couple to natural NAD(P)H oscillations in HT-1080 fibrosarcoma cells // *J. Cell Sci.* 2001. V. 114, N 8. P. 1515–1520.
- Salunke B.P., Umathe S.N., Chavan J.G. Behavioral in-effectiveness of high frequency electromagnetic field in mice // *Physiol. Behav.* 2015. V. 140. P. 32–37.
- Samuels C.H. Jet lag and travel fatigue: A comprehensive management plan for sport medicine physicians and high-performance support teams // *Clin. J. Sport Med.* 2012. V. 22, is. 3. P. 268.
- Sandyk R. Rapid normalization of visual evoked potentials by picoTesla range magnetic fields in chronic progressive multiple sclerosis // *Intern. J. Neurosci.* 1994. V. 77, is. 304. P. 243–259.
- Schumann W.O. Über die dämpfung der electromagnetischen eigenwingungen des systems erde-luft-ionosphäre // *Naturwissenschaft.* 1982. V. 7. P. 250–254.
- Selmaoui B., Touitou Y. Sinusoidal 50-Hz magnetic fields depress rat pineal nat activity and serum melatonin: Role of duration and intensity of exposure // *Life Sci.* 1995. V. 57, is. 14. P. 1351–1358.
- Semm P., Schneider T., Vollrath L. Effects of Earth-strength magnetic field on electrical activity of pineal cells // *Nature.* 1980. V. 288. P. 607–608.
- Solov'ov I.A., Schulten K. Magnetoreception through cryptochrome may involve superoxide // *Biophys. J.* 2009. V. 96. P. 4804–4813.
- Srinivasan V., Pandi-Perumal S.R., Cardinali D.P., Poeggeler B., Hardeland R. Melatonin in Alzheimer's disease and other neurodegenerative disorders // *Behav. Brain Funct.* 2006a. V. 2. P. 15.
- Srinivasan V., Smits M., Spence W., Lowe A.D., Kayumov L., Pandi-Perumal S.R., Parry B., Cardinali D.P. Melatonin in mood disorders // *World J. Biol. Psychiat.* 2006b. V. 7, is. 3. P. 138–152.
- Srinivasan V., Lauterbach E.C., Ho K.Y., Acuna-Castroviego D., Zakaria R., Brzezinsky A. Melatonin in antinociception: Its therapeutic applications // *Curr. Neuropharmacol.* 2012. V. 10, is. 2. P. 167–178.

- Stehle J., Reuss S., Schröder H., Henschel M., Vollrath L.* Magnetic field effects on pineal N-acetyltransferase activity and melatonin content in the gerbil-role of pigmentation and sex // *Physiol. Behav.* 1988. V. 44. P. 91–94.
- St-Pierre L.S., Persinger M.A., Koren S.A.* Experimental induction of inter male aggressive behavior in limbic epileptic rats by weak, complex magnetic fields: implications for geomagnetic activity and the modern habitat? // *Intern. J. of Neuroscie.* 1998. V. 96, is. 3–4. P. 149–159.
- Szemerzsky R., Zelena D., Barna I., Bárdos G.* Stress-related endocrinological and psychopathological effects of short- and long-term 50 Hz electromagnetic field exposure in rats // *Brain Res. Bull.* 2010. V. 81, is. 1. P. 92–99.
- Tan D.-X., Zheng X., Kong J., Lucien C.* Fundamental issues related to the origin of melatonin and melatonin isomers during evolution: relation to their biological functions // *Intern. J. Mol. Sci.* 2014. V. 15, is. 9. P. 15858–15890.
- Temuryants N.A., Martynyuk V.S., Chuyan E.N., Minko V.A., Brusil I.A.* Changes in the infradian rhythmicity of blood lymphocyte dehydrogenases in rats exposed to an extremely low frequency variable magnetic field // *Biofizika.* 2004. V. 49, is. 2, suppl. 1. P. 26–31.
- Temur'yants N.A., Demtsun N.A., Kostyuk A.S., Yarmolyuk N.S.* Specific features of the planarian *Dugesia tigrina* regeneration and mollusk *Helix albescens* nociception under weak electromagnetic shielding // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics.* 2012. V. 48, is. 7. P. 761–770.
- Temur'yants N.A., Kostyuk A.S., Tumanyants K.N.* Involvement of melatonin in changes in nociception in mollusks and mice in long-term electromagnetic screening // *Neurosci. and Behav. Physiol.* 2015. V. 45, is. 6. P. 664–669.
- Touitou Y., Selmaoui B.* The effects of extremely low-frequency magnetic fields on melatonin and cortisol, two marker rhythms of the circadian system // *Dialog. in Clinic. Neurosci.* 2012. V. 14, is. 4. P. 381–399.
- Weydahl A., Sothorn R.B., Cornélissen G., Wetterberg L.* Geomagnetic activity influences the melatonin secretion at latitude 70 degrees N // *Biomed. Pharmacother.* 2001. V. 55, is. 1. P. 57–62.
- Wilson B.W.* Chronic exposure to ELF fields may induce depression // *Bioelectromagnetics.* 1988. V. 9, is. 2. P. 195–205.
- Wilson B.W., Anderson L.E., Hilton D.I., Phillips R.D.* Chronic exposure to 60 Hz electric fields: effects on pineal function in the rat // *Bioelectromagnetics.* 1981. V. 2, is. 4. P. 371–380.
- Wu Y.H., Zhou J.N., Balesar R., Unmehopa U., Bao A., Jockers R., Heerikuize J.V., Swaab D.F.* Distribution of MT1 melatonin receptor immunoreactivity in the human hypothalamus and pituitary gland: Colocalization of MT1 with vasopressin, oxytocin, and corticotrophin-releasing hormone // *J. Comp. Neurol.* 2006. V. 499, is. 6. P. 897–910.
- Zhang X., Li J.F., Wu Q.J., Li B., Jiang J.C.* Effects of hypomagnetic field on noradrenergic activities in the brainstem of golden hamster // *Bioelectromagnetics.* 2007. V. 28, is. 2. P. 155–158.
- Yaga K., Reiter R.J., Manchester L.C., Nieves H., Sun J.H., Chen L.D.* Pineal sensitivity to pulsed static magnetic fields changes during the photoperiod // *Brain Res. Bull.* 1993. V. 30. P. 153–156.
- Yellon S.M.* Acute 60 Hz magnetic field exposure effects on the melatonin rhythm in the pineal gland and circulation of the adult Djungarian hamster // *J. Pineal Res.* 1994. V. 16. P. 136–144.