

**Д.В. Девицин, Н.А. Пальчикова, А.В. Трофимов,
В.Г. Селятицкая, В.П. Казначеев**

ДИНАМИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ЭМОЦИОНАЛЬНО-ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ РЕАКТИВНОСТИ ЖИВОТНЫХ В ПРЕФОРМИРОВАННОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ СРЕДЕ

ГУ Научный центр клинической и экспериментальной медицины СО РАМН, Новосибирск

Долговременная дробная экспозиция в преформированной геомагнитной среде приводит к повышению гетерогенности в группах по изменениям связей электрических параметров организма с космофизическими факторами, выраженности индивидуальной реактивности на предъявляемые воздействия; модифицирует поведенческие характеристики животных и активность гормональных систем.

Ключевые слова: космофизические факторы, газоразрядная визуализация, моделированное пространство, крысы, эмоционально-поведенческая реактивность

Основоположник отечественной гелиобиологии А.Л. Чижевский подчеркивал, что мы не можем изучать организм как нечто обособленное от космотеллурической среды, поскольку каждый атом живой материи находится в непрерывном резонансном взаимодействии с атомами всей природы [16]. Особую актуальность проблема солнечно-биосферных связей приобретает в мегаполисах, где естественные электромагнитные поля преформируются как многочисленными конструкциями, так и техногенными полевыми потоками: возникают локальные гипер- или гипوماгнитные зоны, изменяется геомагнитное наклонение. Преформированные поля являются биологически активным антропо-геоэкологическим фактором, способным вызывать изменения в организме на физиологическом, биохимическом и морфологическом уровнях [11].

Получены результаты, которые рассматривают отдельные стороны и некоторые предполагаемые механизмы таких взаимодействий, например, влияние электромагнитных возмущений на реологические свойства крови [13], кальциевый баланс в организме, что, в свою очередь, приводит к сдвигам в иммунной системе, изменению психического состояния человека, нервной регуляции сердечной деятельности [10] и др.

Новые возможности для оценки влияния гелиогеофизической среды на организм человека и животных открылись с использованием метода газоразрядной визуализации (ГРВ). ГРВ-граммы как статические или динамические изображения, образующиеся под воздействием на оптический электрод «электронной лавины», развивающей-

ся при дополнительном воздействии на объект электрического поля в сверхвысокочастотном диапазоне [12], можно использовать для изучения магнитореактивности биосистем в моделированном пространстве, образованном различными экранами [5].

В отличие от распространенных подходов к изучению усредненных показателей стресса большое значение имеет оценка выраженности индивидуальных различий у экспериментальных животных. Известно, что в общей популяции крыс выявляются разные группы по выживаемости в острой экспериментальной конфликтной ситуации: устойчивые и предрасположенные к эмоциональному стрессу. Выявлена также вариабельность индивидуальной устойчивости сердечно-сосудистых, гормональных, иммунных функций и слизистой желудочно-кишечного тракта у разных животных в однотипных ситуациях, причем животные, устойчивые по одним показателям, могут быть неустойчивыми по другим [15].

В работе исследовали особенности физиологических и эмоционально-поведенческих реакций у экспериментальных животных, которых ежедневно помещали в установки с преформированной геомагнитной средой без экранирования или с ослаблением геомагнитного поля. Анализ полученных результатов проводили с учетом индивидуальных особенностей реагирования животных на внешние воздействия.

Материал и методы

В работе использовали крыс-самцов популяции Вистар. Содержание, питание, уход за животными и выведение их из эксперимента осуществ-

вляли в соответствии с требованиями «Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных» (Приложение к приказу МЗ СССР от 12.08.1977 г. № 755).

Животных 1-й группы ($n=12$) помещали в гипогеомагнитную установку (ГГМУ) экранирующего типа из многослойного пермалоя, ослабляющую геомагнитное поле более чем в 600 раз (патент РФ № 2012175 от 30.04.1994), ежедневно на 18 часов в течение 21 суток. Животных 2-й группы ($n=12$) по аналогичной схеме помещали в установку с трансформацией геомагнитного наклонения (УТГН). Контрольных крыс (3-я группа; $n=6$) содержали в стандартных условиях вивария вне зоны преформированных геофизических полей. Все животные находились во время эксперимента в индивидуальных металлических клетках со свободным доступом к воде.

Исследование электрических параметров организма животных осуществляли методом ГРВ, основанным на эффекте Кирлиан, с помощью прибора «Коррекс» (РУ МЗ РФ № 29/06111299/3064-02), компании «Kirlionics Technologies Int. Ltd». Видеозапись ГРВ-свечения кончика хвоста животных в газовом разряде осуществляли с использованием специального электрода в течение 7 секунд (170 кадров), 5 раз у каждой крысы в ходе всего эксперимента. Спектральную и математическую обработку видеозаписей проводили с использованием программы GDV Video Analyzer версия 1.2.5 (Kirlionics Technologies International).

Данные оперативного спутникового мониторинга космофизической среды (электроны, альфа частицы, галактические и солнечные протоны, скорость солнечного ветра, температура ионной плазмы, составляющие геомагнитного поля (ГМП) — B_x , B_y , B_z , B_t) в дни и часы исследова-

ния были получены с использованием сети Интернет (NOAA, Space Environment Center, 2003). Коэффициенты ранговой корреляции Спирмана между электрофизиологическими ГРВ показателями организма экспериментальных животных и вышеперечисленными параметрами космофизической среды в момент ГРВ-съемки рассчитывали с использованием программного пакета STATISTICA 5.5. Значения коэффициентов корреляции $>0,25$ ($-0,25$) для 1-й, 2-й групп и $>0,36$ ($-0,36$) для 3-й группы соответствовали 5% уровню значимости ($p<0,05$).

В начале эксперимента (до воздействий), через одну, две и три недели воздействий были выполнены измерения физической работоспособности в тесте статической нагрузки (СН) и выраженности межвидовой агрессии (МА). Через 21 сутки измеряли относительную массу внутренних органов, а также содержание тестостерона в крови с использованием коммерческих наборов для иммуноферментного анализа (Стероид ИФА-тестостерон — Алкор Био, Санкт-Петербург).

Измерение физической статической работоспособности проводили по методу [2]. Моделью служил вис животных на шесте, размещенном на высоте не менее 1 метра над поверхностью пола. Измеряли продолжительность вися до отказа в секундах. Тест проводили в дневное время (12⁰⁰-14⁰⁰). Тест по оценке индивидуальной выраженности межвидовой агрессии проводили следующим образом. В течение 10 минут наблюдали контакт каждой экспериментальной крысы с мышью, причем для каждой крысы брали другую мышь. Реакцию крысы оценивали по 5-балльной шкале [8], дополнительно вводя градацию выраженности реакции еще на 0,5 балла. Для оценки различий полученных результатов использовали непараметрические критерии.

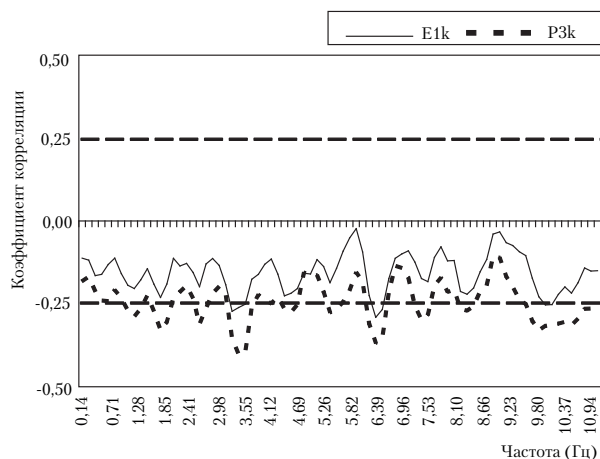


Рис. 1. Корреляционная зависимость спектральной плотности ГРВ-свечения от электронного (E1k) и протонного (P3k) компонента космических лучей в 1-й группе экспериментальных животных

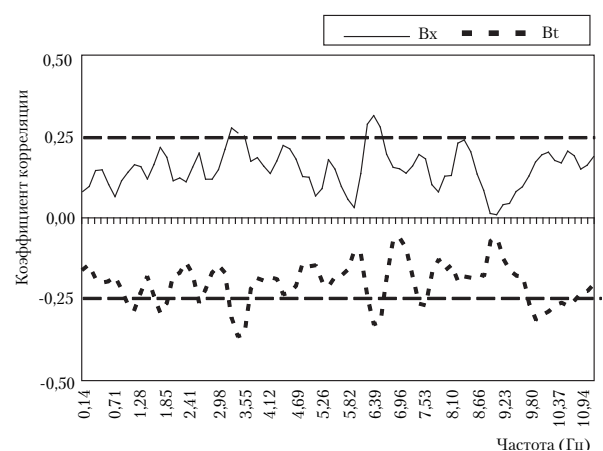


Рис. 2. Корреляционная зависимость спектральной плотности ГРВ-свечения от B_x - и B_t -составляющих магнитного поля Земли в 1-й группе экспериментальных животных

Таблица 1

Корреляционная зависимость спектральной плотности ГРВ-свечения от факторов солнечной активности в трех группах экспериментальных животных

Частота (Гц)	Группа 1				Группа 2				Группа 3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1,28						-0,27						
1,42						-0,27						
1,56						-0,27	0,28					
1,70						-0,26	0,34	0,29				
1,85							0,30	0,27				
1,99							0,32	0,28				
2,13							0,32	0,26				
2,27											0,37	0,36
2,98							0,27					
3,55				-0,29			0,28					
3,69				-0,28	-0,28		0,31	0,26				
3,84					-0,32		0,32	0,26				
3,98					-0,30		0,34	0,27				
4,12					-0,26							

Примечание: представлены значимые коэффициенты ранговой корреляции Спирмана ($p < 0,05$), 1 – альфа-частицы, 2 – протоны высоких энергий, 3 – скорость «солнечного ветра», 4 – температура ионной плазмы.

Результаты

В результате исследования выявлено, что биоэлектрические показатели животных, зарегистрированные с использованием метода ГРВ, находятся в значимой корреляционной зависимости от ряда космофизических параметров. В зависимости от типа преформированного пространства (ГГМУ или УТГН), в котором находились экспериментальные животные, у них сформировался специфический спектр корреляционных связей с космофизической средой. Установлено, что у экспериментальных животных, проходивших испытания в гипогеомагнитной установке, чувствительность организма к изменению интенсивности протонного и электронного компонентов космических лучей существенно отличалась от результатов как во 2-й, так и в 3-й группах. У крыс 1-й группы спектральная плотность излучения в определенных частотных диапазонах (1,3-1,4 Гц; 1,8-2,0 Гц; 3,3-3,9 Гц, 6,4-6,9 Гц, 10,0-11,0 Гц) при ГРВ оказалась в значимой обратной корреляционной зависимости ($p < 0,05$) от интенсивности протонного и электронного компонентов космических лучей (Рис. 1). Во 2-й и 3-й группах подобную выраженную зависимость не наблюдали.

При оценке влияния солнечных факторов зафиксирована иная структура корреляционных зависимостей (Таблица 1). В 1-й группе крыс чувствительность к изменению солнечной активности оказалась минимальной. В контроле (3-я группа) проявились прямые корреляционные связи спек-

тральной плотности ГРВ-свечения со скоростью «солнечного ветра» и температурой ионной плазмы (в частотном диапазоне: 2,2-2,3 Гц). Наиболее выраженная зависимость электрических показателей от параметров, отражающих солнечную активность, установлена в группе животных, проходивших испытания в установке, трансформирующей геомагнитное наклонение. Значимые прямые корреляционные связи со скоростью «солнечного ветра» и температурой солнечной плазмы выявлены в частотных диапазонах: 1,56-2,13 Гц; 2,98-3,98 Гц. Обратные корреляционные связи с солнечными протонами высоких энергий и плотностью их потока установлены в частотном диапазоне 1,28-1,7 Гц, а с потоками альфа-частиц в диапазоне 3,69-4,12 Гц. Зависимость от параметров «солнечного ветра» во 2-й и 3-й группах имела некоторые отличия. Во 2-й группе значимые корреляционные связи были более выражены, проявилась дополнительная зависимость от солнечных протонов высоких энергий и плотности их потока.

При оценке зависимости электрических показателей от параметров магнитного поля Земли во 2-й группе проявлялась прямая корреляционная связь лишь с Вх-составляющей ГМП в диапазонах 1,0-2,1 Гц; 9,2-9,5 Гц. В 3-й группе (контрольной) зафиксированы значимые обратные корреляционные связи с Вх-составляющей в частотном диапазоне 3,3-3,6 Гц и прямые корреляционные связи с Ву- (в диапазонах: 3,4-4,3 Гц; 7,5 Гц; 7,8 Гц и 10,85 Гц) и Вт-составляющими ГМП (9,2-9,5 Гц). В 1-й

группе были установлены значимые прямые корреляционные связи спектральной плотности свечения с Vx- (в диапазонах 3,3-3,6 Гц; 6,35-6,7 Гц), с Vy- (6,0-6,3 Гц) и Vz-составляющими ГМП (3,3-3,4 Гц; 10,15-10,40 Гц), а также выявлены значимые обратные корреляционные связи с Vt-составляющей в широком диапазоне частот: 1,0-1,25 Гц; 1,8-2,05 Гц; 2,6 Гц; 3,25-3,75 Гц; 6,35-6,7 Гц; 7,5-7,7 Гц; 10-11 Гц (Рис. 2). Таким образом, в контрольной группе животных были зафиксированы значимые корреляционные связи с тремя из четырех компонентов магнитного поля Земли, причем зависимости от вертикальной и горизонтальной составляющих были разнонаправленными. Животные, находившиеся в условиях с трансформацией геомагнитного наклонения, оказались чувствительны только к изменениям горизонтальной составляющей геомагнитного поля, зависимость от неё была положительной, в отличие от контрольной группы. У животных, находившихся в гипогеомагнитных условиях, проявились зависимости от всех четырех составляющих ГМП (Vx, Vy, Vz и Vt).

Не менее выраженная разнонаправленная динамика в группах с разной преформацией геомагнитного поля проявилась при оценке фи-

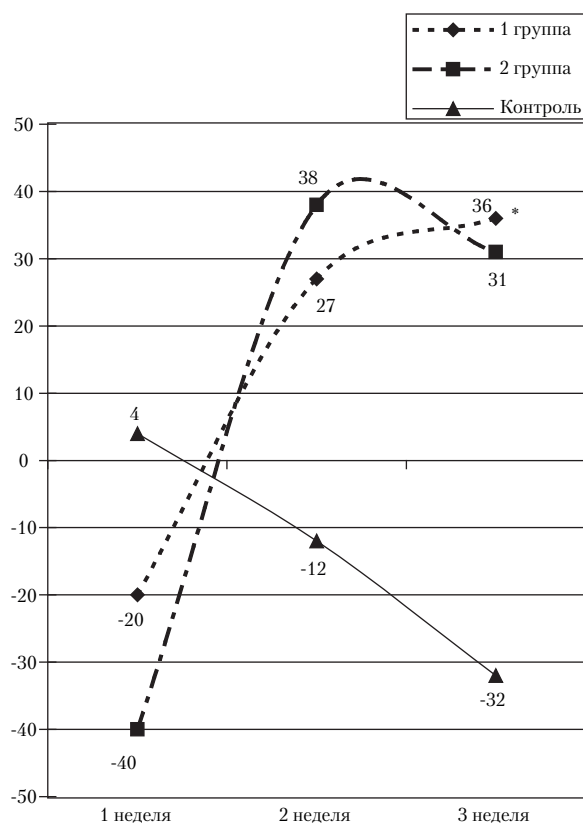


Рис. 3. Динамика прироста физической работоспособности (сек) в ходе экспериментальных воздействий
* — $p < 0,05$ с исходным значением

зиологических характеристик и эмоционально-поведенческой реактивности исследуемых животных.

Анализ динамики прироста физической работоспособности в тесте статической нагрузки у экспериментальных животных относительно исходных значений показал, что у животных обеих экспериментальных групп через 2 и 3 недели этот показатель увеличивается. У контрольных крыс, наоборот, отмечена тенденция к его снижению (Рис. 3).

При анализе выраженности межвидовой агрессии крыс оценивали изменение реакции в ходе эксперимента в пределах одной экспериментальной группы, относя животных с нарастанием агрессии в одну подгруппу, а со снижением — в другую подгруппу. На рис. 4 приведены данные этого анализа.

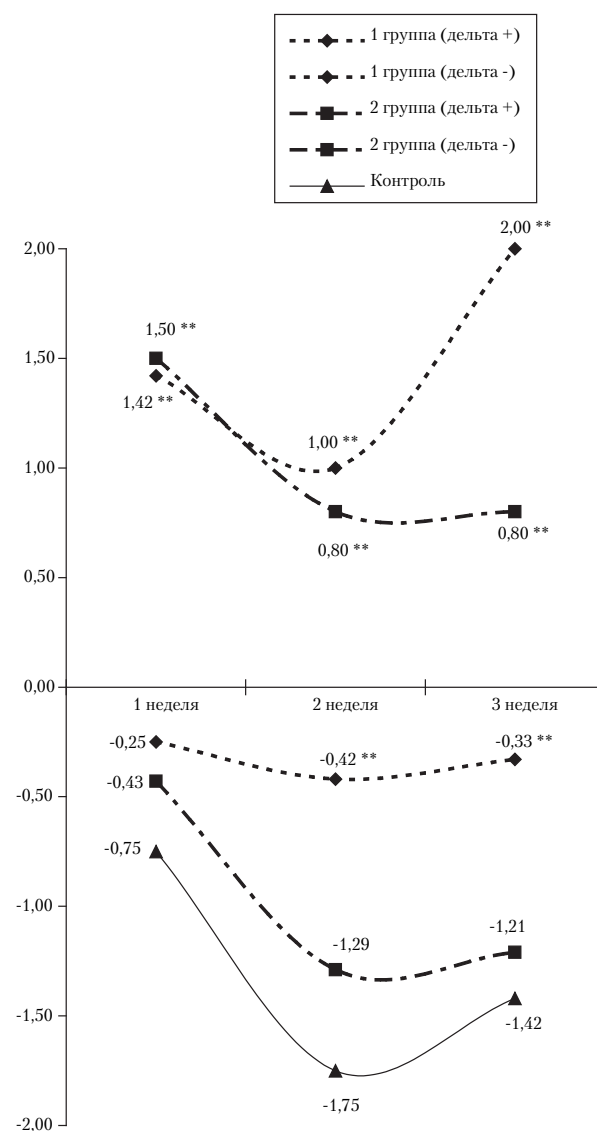


Рис. 4. Динамика прироста выраженности межвидовой агрессии у крыс (баллы) в ходе экспериментальных воздействий

** — $p < 0,01$ по сравнению с аналогичной точкой в контроле

Видно, что у контрольных животных выраженность агрессивной реакции снижалась при многократном предъявлении мыши в динамике эксперимента. Животные, получавшие экспозицию в ГМУ, разделились на 2 подгруппы, каждая из которых состояла из 6 крыс. В 1-й подгруппе выраженность агрессии нарастала в динамике эксперимента, а во второй подгруппе — она слабо снижалась. У 7 животных из группы, получавших экспозицию в УТГН, агрессивность снижалась аналогично контрольным животным, у 5 — первоначальный подъем агрессивности снижался на 2 и 3 точках. Полученный факт, что под влиянием экспозиций в установках экспериментальные животные делятся на две подгруппы — с повышением и снижением выраженности агрессии —, указывает на наличие стрессорной реакции, под влиянием которой проявляется дифференцировка животных по типам реактивности. Гетерогенность популяций лабораторных животных по биохимическим, физическим параметрам, их реактивности к стрессу убедительно документирована [14].

В таблице 2 представлены результаты измерения уровня тестостерона в крови, а также массовых индексов органов половой системы животных после экспериментальных процедур. У животных, получавших экспозиции в УТГН, отмечена тенденция к росту уровня тестостерона в крови, которая сочеталась с увеличением относительной массы органов половой системы крыс. Обращает на себя внимание увеличение разброса индивидуальных значений концентрации тестостерона у экспериментальных животных. Коэффициент вариации по уровню гормона в крови в группе контрольных животных составил 27,3%, в 1-й группе — 40,5%, а во 2-й группе — 70,8%. Эти данные также указывают, что экспозиции животных в установках с преформированным магнитным полем способствуют проявлению индивидуальной гетерогенности в группе, причем эффект УТГН выражен сильнее. Аналогичные данные были получе-

ны нами при изучении гормональных параметров у юношей-волонтеров после кратковременных экспозиций в установках [4].

Известно, что уровень тестостерона в крови связан с агрессивностью самцов и повышение его концентрации коррелирует с увеличением выраженности этой реакции у конкретной особи. Животные, показавшие наиболее выраженную агрессивную реакцию в конце эксперимента, имели значительно более высокий уровень тестостерона, особенно те особи, у которых реакция агрессивности с убийством мыши проявилась только в последний день тестирования.

Обсуждение результатов

Проведенные эксперименты показали, что долговременная дробная экспозиция животных в преформированной геомагнитной среде модифицирует зависимости электрических параметров от космофизической среды, их поведенческие характеристики и активность гормональных систем. Пребывание крыс в установках с ослаблением геомагнитного поля или с трансформацией геомагнитного наклонения вызывает однонаправленные, но выраженные в разной степени изменения изученных характеристик у экспериментальных животных. Так, экспозиции животных в установке с трансформацией геомагнитного наклонения вызывает более выраженное нарастание активности процессов анаболизма, что проявляется в увеличении уровня тестостерона и массовых индексов органов репродуктивной системы, по сравнению с крысами, подвергавшимися гипогеомагнитным воздействиям. В свою очередь, крысы, подвергавшиеся экспозициям в ГМУ, проявляют большую агрессивность в тесте межвидовой агрессии.

Установлен факт, что животные, проходившие серию из 21 «погружения» в гипогеомагнитную среду, становятся более чувствительными к протонным и электронным компонентам космических лучей, что, в свою очередь, позволяет фиксировать ранее неизвестные биотропные эффекты этих факторов [3]. Возможно, что опосредованное

Таблица 2

Концентрация тестостерона в крови и массовые индексы органов половой системы крыс в конце курса экспозиций ($M \pm m$)

Группа	Тестостерон нмоль/л	Семенники г/100 г	Семенные пузырьки г/100 г	Простата вентральная мг/100 г	Простата дорзальная мг/100 г	MLA мг/100 г
Контрольная	6,49±0,72	1,04±0,02	0,34±0,05	113,8±8,7	58,5±8,4	75,7±9,2
I — гипогеомагнитная установка (ГМУ)	7,58±0,95	1,06±0,02	0,31±0,02	116,9±7,7	70,4±4,7	70,0±5,7
II — установка с трансформацией геомагнитного наклонения (УТГН)	11,24±2,74	1,10±0,04	0,40±0,04	128,6±17,8	90,1±9,6	80,2±6,3
P			2-3<0,05		1-3<0,05	

электроатмосферными и другими процессами, зависящими от интенсивности космических лучей и реликтового излучения [6], сопряжение электрических и космофизических параметров усиливается за счет увеличения потребности в регуляторной информации в условиях адаптации к резко измененной среде обитания. В группе 2 (в УТГН) количество проявившихся значимых корреляционных связей меньше и их структура другая, что отражает иной характер сопряжения биоэлектрических параметров организма с величиной и знаком трансформированного геомагнитного наклона, во многом зависящего от географической широты, как известно, определяющей распределение на планете световых и других солнечных энерго-информационных потоков.

Из литературы известно, что нейроны головного мозга крыс проявляют высокую чувствительность к слабым возмущениям магнитных полей [17]. Выявленная нами зависимость электрических параметров от солнечной активности усиливается в условиях трансформации геомагнитного наклона и резко ослабевает в гипогеомагнитных условиях, что, на наш взгляд, еще раз подтверждает особую роль ГМП в формировании солнечно-биосферных связей [7].

Полученные результаты позволяют предполагать, что в основе выявляемых изменений при воздействии на организм животных преформированных геомагнитных полей, изменяющих чувствительность биосистем ко многим космофизическим факторам, лежит генерализованная реакция со стороны многих систем организма, включая ЦНС, которая по своим характеристикам может соответствовать «неспецифическому информационному синдрому дезинтеграции функциональных систем» [9]. В качестве одной из ее составляющих выступает неспецифическая реакция стресса, нивелирующая различия в действии применяемых стрессоров. Специфическим следствием экспозиций в преформированной геомагнитной среде является повышение гетерогенности в группах использованных в эксперименте животных по их индивидуальной реактивности на предъявляемые воздействия.

На данном этапе достаточно трудно сделать выводы о значимости отмечаемых изменений для организма экспериментальных животных в целом. Какие позитивные или негативные следствия этих изменений на уровне организма, его жизнедеятельности будут проявляться далее — пока неизвестно.

При обсуждении этих вопросов следует учитывать мнение ведущих специалистов в области экологической физиологии. Так, Н.А. Агаджанян в своей статье, посвященной идеям А.П. Авцына,

пишет, что исследователи в настоящее время широко пользуются понятием «биосоциальная плата за адаптированность к конкретным экстремальным условиям», которая представляет собой не одномоментный акт, а определенный процесс, длящийся столько времени, сколько живая система нуждается в поддержании заданных параметров адаптированности. В биосоциальную плату за адаптированность, по обоснованному утверждению А.П. Авцына, входят не только морфологическая и биохимическая перестройка, но и определенные повреждения на различных уровнях морфофункциональной организации индивидуумов и их популяций. Степень этих повреждений будет тем значительнее, чем более длительно и интенсивно экстремальное влияние. Не менее важным является определение дезадаптации как состояния, переходного между здоровьем и болезнью, или даже как самой болезни в ее скрытой форме, когда сумма платы за адаптированность выходит за пределы биосоциального «бюджета» организма [1].

Эти вопросы в отношении воздействий на организм преформированных геомагнитных полей, приобретающие все большую актуальность для решения проблем урбаноэкологии, требуют дальнейших исследований.

Dynamics of physiological characteristics and emotional-behavior reactivity of animals in preformed geomagnetic environment

D.V. Devitsin, N.A. Palchikova, A.V. Trofimov, V.G. Selyatitskaya, V.P. Kaznacheev

A long-term fractional exposure in the preformed geomagnetic environment leads to the increase of heterogeneity in groups on some changes of links of organism electric parameters with the cosmophysical factors, on evidence of individual reactivity on the impacts as well as modifies the behavior characteristics of animals and hormonal system activity.

Литература

1. Агаджанян Н.А. Развитие идей А.П. Авцына в области экологической физиологии / Н.А. Агаджанян // Вестник РАМН. — 2002. — № 9. — С. 50-53.
2. Арбузов С.Я. Влияние проникающей радиации и некоторых средств химической защиты на физическую выносливость животных / С.Я. Арбузов, А.М. Сташков, В.П. Короткова // Фармакология и токсикология. — 1960. — Т. 23. — Вып. 5. — С. 456-464.
3. Владимирский Б.М. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу / Б.М. Владимирский, Н.А. Тимурьянц. — М., 2000. — С. 93-95
4. Гормональный статус юношей-спортсменов в динамике кратковременных гипогеомагнитных воздействий / В.Г. Селятицкая, С.В. Одинцов, О.И. Кузьмина и др. // Вестник МНИИКА. — 2002. — Вып. 9. — С. 92-100.

5. *Девяцин Д.В.* Динамика биоэлектрофизических параметров в процессе раскрытия «Космопсихофизических резервов» человека в экранированном пространстве / Д.В. Девяцин, А.В. Трофимов // Тез. VII Межд. конгр. по ГРВ биоэлектрографии «Наука. Информация. Сознание». — С-Пб., 2003. — С. 20.
6. *Дмитриевский И.М.* Динамические колебания плотности потока реликтового излучения как возможный источник космофизических флуктуаций / И.М. Дмитриевский // Биофизика. — 1998. — Т. 43. — Вып. 5. — С. 926-927.
7. *Дубров А.П.* Геомагнитное поле и жизнь / А.П. Дубров. — Л., 1974. — 175 с.
8. *Загустина В.Б.* Индивидуальные различия в адаптации к гипоксии и холоду по критерию эмоционально-поведенческой реактивности организма / В.Б. Загустина, З.А. Алексанян, И.Н. Василевский // Успехи физиологических наук. — 1986. — Т. 17. — № 4. — С. 68-84.
9. *Зилов В.Г.* Научная школа Анохина — Судакова / В.Г. Зилов // Вестник РАМН. — 2002. — № 6. — С. 5-8.
10. Исследование воздействия геомагнитных возмущений в высоких широтах на внутриутробное состояние плода методом кардиографии / О.И. Шумилов, Е.А. Касаткина, А.В. Еникеев и др. // Биофизика. — 2003. — Т. 48. — Вып. 2. — С. 374-379.
11. *Копанев В.И.* Влияние гипогеомагнитного поля на биологические объекты / В.И. Копанев, А.В. Шакула. — Л., 1985. — 72 с.
12. *Мик Дж.* Электрический пробой в газах / Дж. Мик, Дж. Крэгс. — М., 1960. — 605 с.
13. Реакция организма человека на гелиогеофизические возмущения / В.Г. ИONOва, Е.А. Сазанова, Н.П. Сергеев и др. // Биофизика. — 2003. — Т. 48. — Вып. 2. — С. 380-384.
14. *Романов Ю.А.* Общие положения теории пространственно-временной организации биологических систем / Ю.А. Романов // Вестник РАМН. — 2002. — № 6. — С. 13.
15. *Судаков К.В.* Устойчивость к психоэмоциональному стрессу как проблема биобезопасности / К.В. Судаков // Вестник РАМН. — 2002. — № 11. — С. 15-17.
16. *Чижевский А.Л.* Земное эхо солнечных бурь / А.Л. Чижевский. — М., 1976. — 366 с.
17. *Шпинькова В.Н.* Реакция нейронов сенсомоторной коры крыс линии Вистар на слабое возмущение магнитного поля. Цитохимическое исследование / В.Н. Шпинькова, К.А. Никольская, Л.М. Герштейн // Биофизика. — 2000. — Т. 45. — Вып. 1. — С. 137-143.