



Соседова Л.М., Вокина В.А., Новиков М.А., Андреева Е.С., Рукавишников В.С.

## Влияние дыма лесных пожаров на состояние центральной нервной системы крыс

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия

**Введение.** Негативное воздействие дыма природных пожаров на здоровье человека представляет собой уникальную междисциплинарную проблему для современного научного сообщества. В работе представлены результаты исследования влияния дыма лесного пожара на двигательную активность, когнитивные показатели и параметры биоэлектрической активности головного мозга экспонированных крыс.

**Материалы и методы.** Экспериментальные исследования проведены на беспородных белых крысах-самцах. Животных опытной группы подвергали ингаляционному воздействию дыма лесного пожара в течение 1 сут. Сразу после окончания экспозиции проводили обследование животных, включающее в себя тестирование в открытом поле и водном лабиринте Морриса, а также проведение электроэнцефалографического обследования.

**Результаты.** При круглосуточном воздействии дыма лесного пожара в модельных условиях выявлено повышение двигательной и исследовательской активности крыс-самцов на фоне повышения уровня тревожности. Нарушения показателей пространственной памяти и навигационного научения не выявлено. На энцефалограмме экспонированных животных по сравнению с группой контроля преобладал диапазон  $\delta$ -ритма, более выраженный в отведениих правого полушария. Выявлено снижение мощности спектра и средней амплитуды  $\beta 1$ -ритма, а также тенденция к снижению средней амплитуды  $\theta$ -ритма. Индексы основных ритмов ЭЭГ не имели статистически значимых отличий при сравнении с контрольной группой.

**Заключение.** Результаты настоящего исследования показали, что круглосуточное задымление дымом лесного пожара приводит к изменениям биоэлектрической активности головного мозга и дисрегуляции структуры индивидуального поведения у животных, что в совокупности может свидетельствовать о формировании повышенного уровня стрессированности, выходящего за рамки физиологической адаптации.

**Ключевые слова:** лесные пожары; моделирование; крысы; поведение; ЭЭГ

**Для цитирования:** Соседова Л.М., Вокина В.А., Новиков М.А., Андреева Е.С., Рукавишников В.С. Влияние дыма лесных пожаров на состояние центральной нервной системы крыс. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(11): 1224–1228. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1224-1228>

**Для корреспонденции:** Вокина Вера Александровна, канд. биол. наук, науч. сотр. лаб. биомоделирования и трансляционной медицины ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск. E-mail: vokina.vera@gmail.com

**Участие авторов:** Соседова Л.М. — концепция, поиск литературы, написание, оформление статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Вокина В.А. — концепция, поиск литературы, проведение эксперимента, написание, оформление статьи; Новиков М.А. — поиск и перевод литературных источников, проведение эксперимента, написание текста; Андреева Е.С. — проведение эксперимента, обработка результатов; Рукавишников В.С. — руководство, аналитическая работа, обсуждение актуальности и результатов.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Работа выполнялась по плану НИР в рамках государственного задания.

**Заключение локального этического комитета ФГБНУ ВСИМЭИ:** работа выполнена с соблюдением правил гуманного отношения к животным в соответствии с требованиями «Международных рекомендаций по проведению медико-биологических исследований с использованием животных» (ВОЗ, Женева, 1985) и «Правилами лабораторной практики» (Приказ Минздрава России от 23 августа 2010 г. № 708н). На проведение экспериментов получено разрешение Локального этического комитета (Протокол ЛК ФГБНУ ВСИМЭИ № E32/19 от 10.09.2019 г.).

Поступила: 12.05.2021 / Принята к печати: 28.09.2021 / Опубликовано: 30.11.2021

Larisa M. Sosedova, Vera A. Vokina, Mikhail A. Novikov, Elizaveta S. Andreeva,  
Viktor S. Rukavishnikov

## Impact of forest fire smoke on the state of the central nervous system of rats

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

**Introduction.** The adverse negative effect of forest fire smoke on human health represents a unique interdisciplinary challenge to the scientific community. The influence of forest fire smoke on locomotor activity, cognitive indices, and brain bioelectrical activity parameters in exposed rats is presented.

**Materials and methods.** Experimental studies were carried out on outbred white male rats. The animals of the experimental group were exposed to smoke inhalation forest fire for one day. Immediately after the end of the exposure, the animals were examined, including testing in an open field and Morris water maze, as well as an electroencephalographic examination.

**Results.** At twenty-four-hour exposure to wildfire smoke in the model, conditions showed increasing motor and research activity of male rats against the backdrop of growing anxiety. Disorders of indicators of spatial memory and navigation learning were not revealed. On the encephalogram of the exposed animals, in comparison with the control group, the  $\delta$ -rhythm range predominated, more pronounced in the leads of the right hemisphere. A decrease in the power spectrum and the average amplitude  $\beta 1$ -rhythm, as well as a tendency to decrease the average amplitude of  $\theta$ -rhythm, were revealed. The indices of the primary EEG rhythms did not have statistically significant differences when compared with the control group.

**Conclusion.** The results showed that forest fire smoke leads to changes in the bioelectric activity of brain structures and dysregulation of individual behaviour in animals, all of which may indicate the formation of increased levels of stressing beyond physiological adaptation.

**Keywords:** forest fires; modelling; rats; behaviour; EEG

**For citation:** Sosedova L.M., Vokina V.A., Novikov M.A., Andreeva E.S., Rukavishnikov V.S. Impact of forest fire smoke on the state of the central nervous system of rats. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(11): 1224–1228. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1224-1228> (In Russ.)

**For correspondence:** Vera A. Vokina, MD, PhD, Cand. Sci. Biol., researcher of bio-modeling and translational research laboratory of the East-Siberian Institute of Medico-Ecological Researches, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: vokina.vera@gmail.com

**Information about authors:**

Sosedova L.M., <https://orcid.org/0000-0003-1052-4601> Vokina V.A., <https://orcid.org/0000-0002-8165-8052> Rukavishnikov V.S., <https://orcid.org/0000-0003-2536-1550> Novikov M.A., <https://orcid.org/0000-0002-6100-6292> Andreeva E.S., <https://orcid.org/0000-0002-3709-8676>

**Contribution:** Sosedova L.M. – concept, literature search, writing, design of the article; Vokina V.A. – concept, literature search, conducting an experiment, writing, designing an article; Novikov M.A. – search and translation of literary sources, conducting an experiment, writing a text; Andreeva E.S. – conducting an experiment, processing the results; Rukavishnikov V.S. – leadership, analytical work, discussion of relevance and results.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgment.** Financing was carried out at the expense of funds allocated for the implementation of the state task.

**The conclusion of the Local Ethical Committee (LEC) of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research:** the work was carried out in compliance with the rules of humane treatment of animals following the requirements of the International Recommendations for Biomedical Research Using Animals (WHO, Geneva, 1985) and the Rules of Laboratory Practice (Order of the Ministry of Health and Social Development of Russia dated August 23, 2010, No. 708n). Local Ethics Committee (Protocol of the LEC of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research No. E32 / 19 dated 09/10/2019) permitted to conduct experiments.

Received: May 12, 2021 / Accepted: September 28, 2021 / Published: November 30, 2021

## Введение

В последние годы Россия является мировым лидером по потере лесного массива, причём более двух третей обусловлено лесными пожарами [1, 2]. Вместе с тем катастрофические природные пожары распространены на всех континентах с лесным покровом, чему способствуют климатические изменения, произошедшие в начале XXI века, а также дальнейшее увеличение антропогенной нагрузки [3]. При этом сокращение площади и изменение роли растительных экосистем, повышенные концентрации продуктов горения в атмосфере вызывают нарушение глобальных биосферных процессов, оказывают влияние на термодинамическое состояние атмосферы. В многочисленных отечественных и зарубежных исследованиях показано влияние лесных пожаров на химические, оптические и радиоактивные свойства атмосферы, на процессы облакообразования [4–10]. Вместе с тем исследования последствий воздействия различных видов лесных пожаров, направленные не на качество среды обитания, а на состояние здоровья людей, в значительной степени отстают от решения экологических проблем вследствие горения лесной биомассы. Исследования в этой области ведутся. Показана опасность вдыхания продуктов горения для детей, для лиц, страдающих респираторными и сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также беременных женщин [11–14]. В своём большинстве эти работы направлены на пульмонотоксические эффекты экспозиции реальных лесных пожаров. Между тем до сих пор остаются слабо изученными вопросы воздействия дыма на мужской организм, несмотря на преобладание среди спасателей и пожарных лиц мужского пола. Создание лабораторных моделей задымления, максимально соответствующих реальному загрязнению воздуха продуктами горения, и использование в модельных опытах крыс даст возможность не учитывать эффекты психоэмоционального стресса, курения, приёма алкоголя и других токсикантов, а также сопутствующей соматической патологии, способных оказать значительное влияние на конечные результаты.

Цель исследований – изучение функционального состояния нервной системы крыс-самцов после однократной суточной экспозиции дымом лесного пожара.

## Материалы и методы

Экспериментальные исследования проведены на 40 беспородных белых крысах-самцах, массой 180–240 г. Животных опытной группы ( $n = 20$ ) подвергали ингаляционному воздействию дыма лесного пожара в течение 1 сут. Методические подходы к моделированию воздействия дыма природных пожаров с идентификацией отдельных компонентов задымления и характеристикой воздушной среды в экспозиционной камере изложены нами ранее [15]. Крысам контрольной группы ( $n = 20$ ) в камеру подавали чистый воздух. Обследование животных сразу после окончания экспозиции включало в себя оценку функционального состояния ЦНС (тестирование в открытом поле, водном лабиринте Морриса; ЭЭГ).

**Тест «открытое поле»** проводился на круглой арене диаметром 40 см с полупрозрачным полом и бортиками высотой 25 см с инвертированным освещением и системой компьютерной регистрации EthoStudio (Россия) [16]. Животное помещали около стенки и в течение 3 мин регистрировали пройденный путь (в сантиметрах), число вертикальных стоков, эпизодов груминга, фризинга и дефекаций.

**Водный лабиринт Морриса** представлял собой круглый бассейн 1,5 м в диаметре, высотой 60 см, наполненный водой температуры около 25 °С до высоты 25 см, замутнённой путём добавления мела. Верхняя поверхность скрытой платформы имела диаметр 14 см и находилась на 1,5 см ниже поверхности воды. Проводили четырёхкратное (с интервалом 60 с) тестирование животных последовательно из различных секторов бассейна, при этом местоположение скрытой под водой платформы оставалось постоянным. Если животное в течение 60 с не находило платформу, его принудительно помещали на неё. Время пребывания на платформе составляло 60 с. Регистрировали время поиска платформы.

**ЭЭГ-обследование.** Для оценки функциональной активности головного мозга проводили регистрацию электроэнцефалограммы (ЭЭГ) с использованием портативного 8-канального ветеринарного компьютерного электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-1/В» (Нейрософт, Россия). Использовали тонкие игольчатые электроды: 1) два регистрирующих электрода вводили подкожно в области левого и правого полушария теменной части головы; 2) референтный электрод вводили подкожно в области носовой кости; 3) заземляющий электрод фиксировали на хвосте. Регистрировали ЭЭГ в режиме фоновой пробы в течение 60 с. При записи ЭЭГ границы фильтров высоких и низких частот составляли 0,5 и 35 Гц, частота дискретизации – 200 с<sup>-1</sup>. Определяли средние спектральные мощности ритмов и их индексы, средние амплитуды и частоты отдельных диапазонов, деление на диапазоны проводили в пределах следующих значений частот: δ-диапазон – 0,5–4 Гц; θ-диапазон – 4–8; α-диапазон – 8–13; β1-диапазон – 13–22 и β2-диапазон – 22–32 Гц. Длительность эпох анализа составляла 10 с. Для ограничения движения во время размещения электродов и записи ЭЭГ животным вводили подкожно 0,1%-й раствор медетомидина гидрохлорида в дозе 0,01 мг/кг. Запись ЭЭГ проводилась в затемнённой тихой комнате.

Все экспериментальные животные получены путём собственного воспроизводства в виварии ФГБНУ ВСИМЭИ. Животных содержали в специальном помещении с 12-часовым светлым/тёмным циклом, регулируемой температурой ( $22 \pm 3$  °С) и влажностью 60%, со свободным доступом к чистой водопроводной воде и пище, включающей в себя все необходимые витамины и микроэлементы. Работа выполнена с соблюдением правил гуманного отношения к животным в соответствии с требованиями «Международных рекомендаций по проведению медико-биологических исследований с использованием животных» (ВОЗ, Женева, 1985) и «Правилами лабораторной практики» (приказ Минздравсоцразвития России от 23 августа 2010 г. № 708н).

Таблица 1 / Table 1

Результаты тестирования белых крыс в «открытом поле», *Me (LQ; UQ)*Results of testing albino rats in the "open field", *Me (LQ; UQ)*

Показатель Index	Вариант исследования Research options	
	контроль control	опыт experiment
Пройденный путь, см Distance, cm	487 (394; 654)	682 (592; 825)*
Число вертикальных стоек Rearing, number	12 (9; 15)	19 (15; 23)**
Число актов фризинга Freezing, number	0 (0; 1)	3 (1; 4)*
Число актов дефекации Defecation, number	0 (0; 2)	0.5 (0; 1)
Число актов груминга Grooming, number	1 (0; 2)	2 (1; 2)

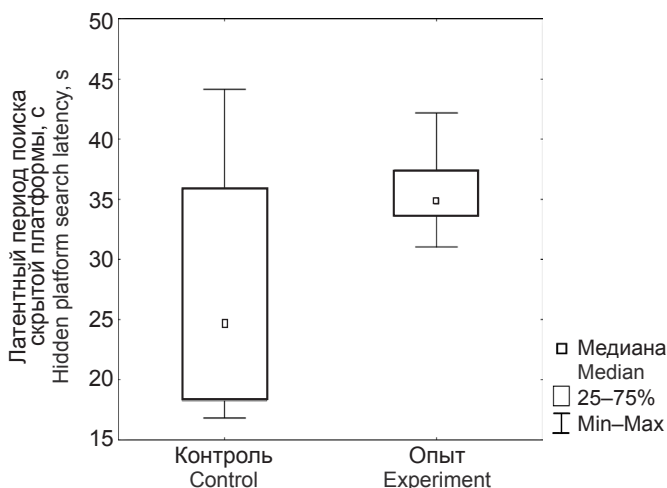
Примечание. Здесь и в табл. 2: \* – различия статистически значимы по сравнению с контролем при  $p < 0,05$ ; \*\* – различия носят характер тенденции по сравнению с контрольной группой.

Note. Here and in table. 2: \* – the differences are statistically significant compared to the control at  $p < 0,05$ ; \*\* – the differences are in the nature of a trend compared to the control group.

Статистический анализ результатов исследования проводился с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.1. (StatSoft, США) (лиц. № AXXR004E642326FA). Для принятия решения о виде распределения признаков использовали *W*-критерий Шапиро – Уилка. Для сравнения групп применяли *U*-критерий Манна – Уитни. Нулевые гипотезы об отсутствии различий между группами отвергали при достигнутом уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

## Результаты

Анализ полученных результатов тестирования белых крыс в «открытом поле», подвергавшихся воздействию дыма, показал повышение двигательной активности у экспонированных животных ( $U = 51$ ;  $Z = -2,68$ ;  $p = 0,007$ ; табл. 1). Последствием экспозиции продуктами горения у белых крыс являлось значительное нарастание тревожности, проявлявшееся в повышении числа актов «фризинг» по сравнению с контрольной группой ( $U = 4,5$ ;  $Z = -3,26$ ;  $p = 0,001$ ; см. табл. 1). Кроме того, наблюдалась тенденция к повышению исследовательской активности у экспонированных самцов, о чём свидетельствовало увеличение числа



Результаты тестирования белых крыс в водном лабиринте Морриса.  
Results of testing albino rats in the Morris water maze.

вертикальных стоек у опытных животных по сравнению с контролем ( $U = 20,5$ ;  $Z = -1,95$ ;  $p = 0,050$ ; см. табл. 1). В совокупности наблюдаемое повышение двигательной активности у экспонированных животных с повышенным числом актов фризинга и вертикальных стоек следует рассматривать как показатель высокой стрессированности данных особей и нарушение процессов торможения в ЦНС.

Оценку способности экспериментальных животных к навигационному научению и пространственной памяти осуществляли с помощью водного лабиринта Морриса. Результаты исследования показали, что латентный период поиска скрытой платформы у животных, подвергавшихся воздействию дыма, не имел статистически значимых различий с контрольной группой (рисунок).

Этологическая характеристика двигательной и исследовательской активности животных, а также когнитивные способности лишь косвенно отражают характер изменения функционального состояния ЦНС у животных, в то время как биоэлектрическая активность головного мозга позволяет выявить зоны, степень и выраженность нарушений нервной ткани. Анализ результатов ЭЭГ-обследования головного мозга белых крыс показал, что при остром воздействии продуктов горения наблюдалось статистически значимое повышение средней частоты  $\delta$ -ритма ( $U = 3$ ;  $Z = 2,5$ ;  $p = 0,012$ ; табл. 2) в правом полушарии по сравнению с соответствующими показателями контрольной группы.

Выявлена тенденция к снижению средней амплитуды ЭЭГ  $\theta$ -ритма ( $U = 11$ ;  $Z = -1,9$ ;  $p = 0,056$ ), снижение мощности спектра и средней амплитуды  $\beta_1$ -ритма ( $U = 5$ ;  $Z = -2,6$ ;  $p = 0,009$  и  $U = 4$ ;  $Z = -2,71$ ;  $p = 0,007$  соответственно) также в правом полушарии (табл. 2). Анализ индексов основных ритмов ЭЭГ не выявил статистически значимых отличий показателей опытной группы при сравнении с контролем (см. табл. 2).

## Обсуждение

Проведённый нами ранее цикл исследований позволил выявить некоторые дозо-временные зависимости ответной реакции крыс при экспозиции дымом природных пожаров [15, 17, 18]. Разработанная экспериментальная модель устойчивого низового лесного пожара подтверждена достигнутым уровнем загрязнения воздушной среды, близким к реальным замерам в период задымления. В зависимости от целей и условий воздействия дыма на экспериментальных животных были получены результаты, свидетельствующие о разнонаправленных изменениях двигательной активности крыс. Так, интермиттирующее воздействие дыма на крыс в течение недели по 4 ч в день (суммарно 20 ч) сопровождалось значительным снижением локомоторной активности и ориентировочно-исследовательского поведения на фоне повышенной тревожности. У самцов выявлены нарушения пространственной памяти и способности к навигационному научению [15]. В то же время нарушения целостной структуры поведения при суточном воздействии дыма лесных пожаров в модельных условиях на крыс-самцов, напротив, характеризовались повышением двигательной и исследовательской активности на фоне негативного эмоционального состояния наряду с сохранением когнитивных показателей. Такого рода нарушения видоспецифического поведения свидетельствуют о дисбалансе процессов торможения и возбуждения в ЦНС с преобладанием соответственно возбуждения или торможения. Следует отметить, что как при интермиттирующем воздействии дыма в течение 1 нед, так и при воздействии в течение 1 сут у животных наблюдалась повышенная тревожность. Вместе с тем когнитивные способности крыс, подвергавшихся суточной экспозиции, не пострадали. В целом оценка нарушений поведения и когнитивных способностей экспонированных дымом крыс свидетельствует о том, что прерывистое воздействие в течение 20 ч в день оказало более выраженный неблагоприятный эффект. Непрерывная экспозиция в течение 24 ч не вызывала когни-

Таблица 2 / Table 2

Показатели биоэлектрической активности коры головного мозга белых крыс, подвергавшихся воздействию дыма, *Me* (LQ; UQ)  
Indices of bioelectrical activity of the cerebral cortex of white rats exposed to smoke, *Me* (LQ; UQ)

Диапазон частот ЭЭГ EEG frequency range	Левое полушарие Left hemisphere		Правое полушарие Right hemisphere	
	опыт experiment	контроль control	опыт experiment	контроль control
<i>Средняя частота, Гц / Average frequency, Hz</i>				
Δ	3.2 (1.8; 3.4)	1.3 (0.7; 2.4)	3.2 (2.2; 3.3)*	0.8 (0.7; 2.2)
Θ	6.2 (6.1; 6.3)	6.3 (6.2; 6.4)	6.1 (6.0; 6.6)	6.2 (6.2; 6.5)
A	10.8 (10.5; 10.9)	10.7 (10.6; 10.7)	10.5 (10.5; 10.7)	10.6 (10.6; 10.8)
β1	17.0 (16.9; 17.1)	16.9 (16.9; 17.0)	16.9 (16.9; 17.0)	16.9 (16.9; 17.0)
β2	26.0 (25.5; 26.1)	25.8 (24.9; 26.1)	25.7 (25.3; 26.3)	25.3 (24.9; 25.9)
<i>Средняя амплитуда ЭЭГ, мкВ / Average EEG amplitude, μV</i>				
Δ	60.8 (33.1; 70.9)	38.7 (27.7; 57.8)	55.2 (21.7; 80.7)	41.0 (19.3; 52.2)
Θ	51.3 (43.8; 56.8)	50.2 (48.2; 52.0)	49.0 (43.7; 52.3)**	55.4 (50.1; 56.1)
A	35.6 (30.6; 40.1)	37.7 (34.5; 41.1)	35.2 (31.1; 38.6)	37.5 (34.9; 40.0)
β1	20.7 (16.6; 23.7)	20.4 (18.0; 22.5)	18.8 (14.9; 21.2)	21.9 (18.3; 26.4)
β2	16.4 (12.1; 22.3)	13.6 (10.8; 15.2)	13.3 (12.5; 16.3)	13.8 (11.7; 14.5)
<i>Мощность спектров, мкВ<sup>2</sup> / Spectrum power, μV<sup>2</sup></i>				
Δ	14.8 (5.9; 32.4)	15.6 (9.0; 29.5)	12.5 (4.9; 27.8)	14.4 (8.3; 24.6)
Θ	6.3 (4.2; 7.7)	7.5 (5.7; 9.3)	5.3 (3.6; 7.1)	6.8 (5.4; 10.3)
A	2.2 (1.2; 3.0)	2.4 (1.9; 2.9)	1.8 (1.1; 2.5)	2.1 (1.8; 3.2)
β1	0.4 (0.3; 0.5)	0.5 (0.4; 0.9)	0.4 (0.2; 0.4)*	0.6 (0.4; 0.8)
β2	0.2 (0.1; 0.2)	0.1 (0.1; 0.4)	0.1 (0.1; 0.2)	0.1 (0.1; 0.2)
<i>Амплитуда спектров, мкВ / Spectrum Amplitude, μV</i>				
δ	3.3 (1.9; 4.7)	3.2 (2.5; 3.4)	3.0 (1.8; 4.4)	3.1 (2.5; 3.6)
θ	2.1 (1.7; 2.3)	2.3 (2.0; 2.6)	2.0 (1.6; 2.3)	2.2 (2.0; 2.7)
α	1.2 (0.9; 1.5)	1.4 (1.2; 1.4)	1.1 (0.9; 1.4)	1.3 (1.2; 1.6)
β1	0.6 (0.4; 0.7)	0.6 (0.6; 0.8)	0.5 (0.4; 0.6)*	0.6 (0.6; 0.8)
β2	0.3 (0.3; 0.4)	0.3 (0.3; 0.5)	0.3 (0.3; 0.3)	0.3 (0.3; 0.4)
<i>Индекс ритма, % / Rhythm index, %</i>				
δ	0.5 (0.3; 0.9)	0.3 (0.2; 0.4)	0.7 (0.3; 1.0)	0.2 (0.1; 0.4)
θ	11.4 (7.1; 12.0)	9.90 (5.9; 11.2)	11.3 (6.3; 13.2)	10.3 (3.7; 11.6)
α	25.1 (18.2; 27.7)	23.4 (20.4; 31.8)	26.3 (16.0; 30.3)	23.3 (19.4; 28.7)
β1	17.8 (16.3; 19.0)	18.3 (17.4; 20.2)	15.7 (14.6; 17.8)	18.9 (17.9; 2.30)
β2	26.0 (25.1; 26.1)	27.9 (19.8; 31.9)	25.3 (18.4; 39.0)	29.2 (20.7; 36.7)

тивных нарушений, а повышение двигательной активности можно расценить как проявления компенсаторно-приспособительной реакции в ответ на воздействие.

Впервые нами были продемонстрированы особенности распределения частотных диапазонов биоэлектрической активности головного мозга у экспонированных в течение суток дымом лесного пожара животных, выявившие нарушения преимущественно в правом полушарии. На энцефалограмме экспонированных животных по сравнению с группой контроля преобладал диапазон δ-ритма, более выраженный в отделах правого полушария. Односторонняя локальная медленноволновая активность является признаком локального коркового поражения. По данным Свидерской Н.Е. [19], увеличение мощности низкочастотных ритмов δ-диапазона рассматривается как показатель состояния тревоги и психоэмоционального напряжения, что находит подтверждение в результатах проведенного нами экспери-

мента, свидетельствующих о повышенной тревожности у животных, подвергавшихся воздействию дыма.

Существуют тесные отношения между мощностью ЭЭГ в β-диапазоне частот и метаболической деятельностью в соответствующей корковой области мозга. Снижение мощности и амплитуды β1-ритма выявлено в правом полушарии, однако асимметрия не носит выраженного характера, что наблюдается при патологических изменениях в сером веществе коры большого мозга того полушария, в котором амплитуда β-ритма ниже. Известно, что в генерацию β-ритмов вовлечены сети тормозных промежуточных нейронов [20, 21]. Уменьшение спектральной мощности и когерентности в большинстве высокочастотных полос β-ритмов ЭЭГ можно объяснить падением энергетики и синаптической активности коры, приводящим к ослаблению ее высших функций [22]. С учётом этого снижение мощности и амплитуды β1-ритма может, по нашему мнению, свидетельство-

вать об изменении активности тормозных промежуточных нейронов и, как следствие, вызывать повышение двигательной и исследовательской активности животных, наблюдавшееся после суточного воздействия дыма лесных пожаров.

Установлено, что  $\theta$ -ритм выполняет множество функций в мозге млекопитающего, в том числе поддержание регуляции базовых процессов в организме и участие в высших (когнитивных) процессах [23, 24]. Снижение средней амплитуды ЭЭГ  $\theta$ -ритма у экспонированных дымом крыс может свидетельствовать о некотором снижении активности физиологических процессов в ЦНС.

## Заключение

Пока не установлено, как долго могут сохраняться выявленные нами изменения биоэлектрической активности головного мозга крыс после острого суточного воздействия дыма лесных пожаров. Возможно, проявления их

будут снижаться с течением времени при отсутствии последующего контакта с фактором. Однако вызывает необходимость появления нарушений биоэлектрической активности головного мозга в совокупности с нарушениями видоспецифического поведения крыс уже после однократного воздействия дыма в течение суток. При экстраполяции данных с животных на человека нами использованы константы подобия, разработанные Каркищенко Н.Н. и основанные на интенсивности биологических процессов, согласно которым интоксикация, развивающаяся у крысы за 24 ч, проявится у человека уже через 5,3 сут [25], тогда как тушением лесных возгораний в пожароопасный период спасатели и пожарные заняты обычно в течение 2–3 мес. В связи с этим результаты экспериментального моделирования воздействия дыма лесных пожаров могут лежать в основе разработки профилактических мер по предупреждению нарушений состояния здоровья работников службы МЧС.

## Литература (п.п. 2, 4–6, 8, 11–14, 16, 18, 20, 21, 23, 24 см. References)

- Суркова Г.В., Блинов Д.В., Кирсанов А.А., Ревокатова А.П., Ривин Г.С. Моделирование распространения шлейфов воздушных загрязнений от очагов лесных пожаров с использованием химико-транспортной модели COSMO-Ru7-ART. *Оптика атмосферы и океана*. 2014; 27(1): 75–81.
- Волков С.Н., Борисов В.А., Фокина Е.А. Лесные пожары – глобальная мировая проблема. *Int. J. Adv. Stud. Med. Biomed. Sci.* 2018; (1): 69–76.
- Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н. Аномальные пожары 2010 и 2012 гг. на территории России и поступление черного углерода в Арктику. *Оптика атмосферы и океана*. 2016; 29(6): 482–7. <https://doi.org/10.15372/AOO20160606>
- Горчаков Г.И., Ситнов С.А., Карпов А.В., Горчакова И.А., Гущин Р.А., Дашенко О.И. Крупномасштабные дымки Евразии летом 2016 г. *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. 2019; 55(3): 41–51. <https://doi.org/10.31857/S0002-351555341-51>
- Макоско А.А., Матешева А.В. *Загрязнение атмосферы и качество жизни населения в XXI веке: угрозы и перспективы*. М.; 2020.
- Вокина В.А., Новиков М.А., Елфимова Т.А., Богомолова Е.С., Алексеенко А.Н., Соседова Л.М. Исследование воздействия эмиссии от лесных пожаров на морфофункциональное состояние центральной нервной системы белых крыс. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(11): 1245–50. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1245-1250>
- Вокина В.А., Новиков М.А., Алексеенко А.Н., Соседова Л.М., Капустина Е.А., Богомолова Е.С. и соавт. Экспериментальная оценка влияния дыма лесных пожаров на репродуктивную функцию мелких млекопитающих и их потомство. *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология*. 2019; 29: 88–98. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.29.88>
- Свидерская Н.Е. *Синхронная электрическая активность мозга*. М.: Наука; 1987.
- Кожечкин С.Н., Свидерская Н.Е., Коштоянц О.Х., Середенин С.Б. Влияние этанола в различных дозах на ЭЭГ крыс. Многопараметрический анализ. *Экспериментальная и клиническая фармакология*. 2004; 67(5): 46–50. <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2004-67-5-46-50>
- Каркищенко Н.Н. Через критерии подобия и аллометрии к валидации и экстраполяции в биомедицине. *Биомедицина*. 2007; (1): 5–28.
- Surkova G.V., Blinov D.V., Kirsanov A.A., Revokatova A.P., Rivin G.S. Simulation of air pollution distribution from forest fires using the chemical-transport model COSMO-Ru7-art. *Optika atmosfery i okeana*. 2014; 27(1): 75–81. (in Russian)
- Global Forest Watch. 2015. New satellite data reveal massive tree cover loss in Russia and Canada. Available at: <https://www.wri.org/news/release-new-satellite-data-reveal-massive-tree-cover-loss-russia-and-canada>
- Volkov S.N., Borisov V.A., Fokina E.A. Forest fires – global problem. *Int. J. Adv. Stud. Med. Biomed. Sci.* 2018; (1): 69–76. (in Russian)
- Simoneit B.R.T., Rogge W.F., Mazurek M.A., Standley L.J., Hildemann L.M., Cass G.R. Lignin pyrolysis products, lignans, and resin acids as specific tracers of plant classes in emissions from biomass combustion. *Environ. Sci. Technol.* 1993; 27(12): 2533–41. <https://doi.org/10.1021/es00048a034>
- Mazzoleni L.R., Zielinska B., Moosmüller H. Emissions of levoglucosan, methoxy phenols, and organic acids from prescribed burns, laboratory combustion of wildland fuels, and residential wood combustion. *Environ. Sci. Technol.* 2007; 41(7): 2115–22. <https://doi.org/10.1021/es061702c>
- Freeborn P.H., Wooster M.J., Roy D.P., Cochrane M.A. Quantification of MODIS fire radiative power (FRP) measurement uncertainty for use in satellite-based active fire characterization and biomass burning estimation. *Geophys. Res. Lett.* 2014; 41: 1988–94. <https://doi.org/10.1002/2013GL059086>
- Vinogradova A.A., Smirnov N.S., Korotkov V.N. Anomalous wildfires in 2010 and 2012 on the territory of Russia and supply of black carbon to the Arctic. *Optika atmosfery i okeana*. 2016; 29(6): 545–50. <https://doi.org/10.15372/AOO20160606> (in Russian)
- Wang X., Thai P.K., Mallet M., Desservettaz M., Hawker D.W., Keywood M. Emissions of selected semivolatile organic chemicals from forest and savannah fires. *Environ. Sci. Technol.* 2017; 51(3): 1293–302. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03503>
- Gorchakov G.I., Sitnov S.A., Karpov A.V., Gorchakova I.A., Gushchin R.A., Datsenko O.I. Eurasian large-scale hazes in summer 2016. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*. 2019; 55(3): 41–51. <https://doi.org/10.31857/S0002-351555341-51> (in Russian)
- Makosko A.A., Matesheva A.V. *Air Pollution and the Quality of Life in the XXI Century: Threats and Prospects [Zagryaznenie atmosfery i kachestvo zhizni naseleniya v XXI veke: угрозы и перспективы]*. Moscow; 2020. (in Russian)
- Johnston F.H., Henderson S.B., Chen Y., Randerson J.T., Marlier M., DeFries R.S., et al. Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires. *Environ. Health Perspect.* 2012; 120(5): 695–701. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104422>
- Reid C.E., Brauer M., Johnston F.H., Jerrett M., Balmes J.R., Elliott C.T. Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure. *Environ. Health Perspect.* 2016; 124(9): 1334–43. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409277>
- Sun X., Luo X., Zhao C., Zhang B., Tao J., Yang Z., et al. The associations between birth weight and exposure to fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and its chemical constituents during pregnancy: A meta-analysis. *Environ. Pollut.* 2016; 21: 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.12.022>
- Abdo M., Ward I., O'Dell K., Ford B., Pierce J.R., Fischer E.V., et al. Impact of Wildfire Smoke on Adverse Pregnancy Outcomes in Colorado, 2007–2015. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019; 16(19): 3720. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193720>
- Vokina V.A., Novikov M.A., Elfimova T.A., Bogomolova E.S., Алексеенко А.Н., Соседова Л.М. Effects of wildfire emission on the morphofunctional state of the central nervous system in white rats. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(11): 1245–50. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1245-1250> (in Russian)
- Kulikov A.V., Tikhonova M.A., Kulikov V.A. Automated measurement of special preference in the open field test with transmitted lighting. *J. Neurosci. Meth.* 2008; 170(2): 345–51. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2008.01.024>
- Vokina V.A., Novikov M.A., Alekseenko A.N., Sosedova L.M., Kapustina E.A., Bogomolova E.S., et al. Experimental evaluation of effect of wildfire smoke exposure on reproductive function of small mammals and their offspring. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya*. 2019; 29: 88–98. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.29.88> (in Russian)
- Sosedova L.M., Vokina V.A., Novikov M.A., Rukavishnikov V.S., Andreeva E.S., Zhurba O.M., et al. Paternal biomass smoke exposure in rats produces behavioral and cognitive alterations in the offspring. *Toxics*. 2021; 9(1): 3. <https://doi.org/10.3390/toxics9010003>
- Sviderskaya N.E. *Synchronous Electrical Brain Activity [Sinkhronnaya elektricheskaya aktivnost' mozga]*. Moscow: Nauka; 1987. (in Russian)
- Pfurtscheller G., Neuper Ch. Simultaneous EEG 10 Hz desynchronization and 40 Hz synchronization during finger movements. *Neuroreport*. 1992; 3(12): 1057–60. <https://doi.org/10.1097/00001756-199212000-00006>
- Desmedt J.D., Tomberg C. Transient phase-locking of 40 Hz oscillation in prefrontal and parietal human cortex reflects the process of conscious somatic perception. *Neurosci. Lett.* 1994; 168(1-2): 126–9. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(94\)90432-4](https://doi.org/10.1016/0304-3940(94)90432-4)
- Kozhechkin S.N., Sviderskaya N.E., Koshtoyants O.Kh., Seredenin S.B. Multiparametric analysis of the effect of ethanol in various doses on EEG in rats. *Экспериментальная и клиническая фармакология*. 2004; 67(5): 46–50. <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2004-67-5-46-50> (in Russian)
- Woolcock T.E., Murkin Y.M., Farrar J.K., Tweed A., Guiraudon G.M., McKenzie F.N. Pharmacologic EEG suppression during cardiopulmonary bypass: cerebral hemodynamic and metabolic effects of thiopental or isoflurane during hypothermia and normothermia. *Anesthesiology*. 1987; 67(2): 218–24.
- Hu H., Vervaeke K., Graham L.J., Storm J.F. Complementary theta resonance filtering by two spatially segregated mechanisms in CA1 hippocampal pyramidal neurons. *J. Neuroscience*. 2009; 29(46): 14472–83. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.01877-09.2009>
- Karkishchenko N.N. Through the similarity criteria and allometry for validation and extrapolation in biomedicine. *Biomeditsina*. 2007; (1): 5–28. (in Russian)