

Научная статья

ГЕОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАК ФАКТОР РИСКА РАЗВИТИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА В ЭРИТРОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

А.М. Иркаева^{1,2}, Е.С. Жукова¹, Т.Г. Щербатюк^{1,3,4}, В.В. Чернов⁵,
Л.В. Полякова^{1,2}, М.А. Позднякова¹, И.А. Умнягина¹

¹Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии, Россия, 603005,
г. Нижний Новгород, ул. Семашко, 20

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени
Н.И. Лобачевского, Россия, 603022, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23

³Московский государственный областной университет, Россия, 141014, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, 24

⁴Пушчинский государственный естественнонаучный институт, Россия, 142290, г. Пушкино, проспект Науки, 3

⁵Институт прикладной физики Российской академии наук, Россия, 603950, г. Нижний Новгород,
ул. Ульянова, 46

В настоящее время все активнее проводятся исследования по влиянию гелиогеофизических факторов на различные организмы. За последнее десятилетие выявлено важное значение метеорологических факторов в формировании адаптационных механизмов живых систем. Также известно, что солнечно-земное взаимодействие непосредственно оказывает влияние на реологические характеристики крови людей как в норме, так и с хроническими неинфекционными заболеваниями. В связи с этим влияние «космической погоды» на живые организмы, в частности на человека, является поводом для основательного изучения реакций, формирующихся в ответ на действие солнечной и геомагнитной активности и, прежде всего, солнечных вспышек и магнитных бурь.

На сегодняшний день наиболее распространенный подход в установлении механизмов влияния магнитного поля Земли на биосистемы подразумевает поиск корреляций между различными параметрами функционирования живых организмов и геомагнитными индексами.

Оценена зависимость ферментативной активности антиоксидантной системы защиты на примере супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы от возмущений геомагнитного поля.

Исследование осуществлено на образцах крови, полученных от условно здоровых добровольцев, проживающих на территории Нижегородской области. Активность супероксиддисмутазы и каталазы определяли спектрофотометрически в эритроцитах крови. Силу геомагнитных возмущений оценивали по величине планетарного Кр-индекса.

В ходе исследования установлена статистически значимая корреляционная взаимосвязь между активностью супероксиддисмутазы, каталазы и показателем возмущения геомагнитного поля, которая позволяет косвенно предположить, что геомагнитная обстановка непосредственно влияет на уровень продукции супероксидного радикала в организме.

Таким образом, одним из механизмов влияния геомагнитного поля на живые организмы является изменение уровня продукции супероксидного радикала. Активизация процессов свободнорадикального окисления может способствовать прогрессированию как развития, так и течения целого ряда заболеваний (особенно сердечно-сосудистых и нервно-психических). Поэтому целесообразно в дальнейшем провести оценку реактивности антиоксидантной системы защиты в ответ на геомагнитные флуктуации при патологических изменениях в организме.

Ключевые слова: геомагнитные возмущения, солнечная активность, гелиобиология, Кр-индекс, супероксиддисмутаза, каталаза, магниточувствительность, организм человека.

© Иркаева А.М., Жукова Е.С., Щербатюк Т.Г., Чернов В.В., Полякова Л.В., Позднякова М.А., Умнягина И.А., 2021
Иркаева Анастасия Максимовна – лаборант-исследователь; магистрант первого года обучения (e-mail: irkaeva-anastasiya@inbox.ru; тел.: 8 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4509-2151>).

Жукова Евгения Сергеевна – научный сотрудник, заведующий лабораторией (e-mail: evgenya_plekhanova@mail.ru; тел.: 8 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9016-2390>).

Щербатюк Татьяна Григорьевна – доктор биологических наук, профессор; главный научный сотрудник (e-mail: ozone_stg@mail.ru; тел.: 8 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1144-8006>).

Чернов Владимир Викторович – кандидат физико-математических наук; старший научный сотрудник (e-mail: vcher@appl.sci-nnov.ru; тел.: 8 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0871-5954>).

Полякова Любовь Валерьевна – лаборант-исследователь; магистрант первого года обучения (e-mail: polaykova2016@mail.ru; тел.: 8 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7056-734X>).

Позднякова Марина Александровна – доктор медицинских наук, профессор, член Ассоциации организаций и специалистов в сфере гигиены «Союз гигиенистов»; главный научный сотрудник, заведующий отделом медико-профилактических технологий управления рисками общественному здоровью, руководитель Центра дополнительного профессионального медицинского образования (e-mail: prof_pozdnyakova@mail.ru; тел.: 8 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7767-6098>).

Умнягина Ирина Александровна – кандидат медицинских наук; директор (e-mail: recept@nniigr.ru; тел.: 8 (831) 419-61-94; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9276-7043>).

На сегодняшний день накоплено достаточно наблюдений о влиянии космических факторов на биосферу, но механизмы их действия мало изучены [1–8]. Такие экологические воздействия обладают выраженным биотропным эффектом, который приводит к биохимическим и физиологическим перестройкам живых организмов [9] и проявляется не только на уровне индивидуального цикла развития, но также оказывает влияние на характер развития последующих поколений в целом [10]. Раскрытие этих фундаментальных механизмов – база прогностических и профилактических программ в медицине.

Известно, что главным источником космической погоды на планете Земля является ближайшая к ней звезда – Солнце. Его воздействующими агентами являются электромагнитное излучение различного диапазона, потоки звездного ветра, солнечные космические лучи, вспышки и выбросы коронарной массы. Земля обладает защитным экраном от губительного действия этих агентов в виде собственного магнитного поля планеты и озонового слоя атмосферы. Однако часть высокоскоростных заряженных частиц способна проникать внутрь магнитосферы Земли, приводя в дальнейшем к изменениям в атмосфере и ионосфере. Количество и мощность солнечных воздействующих факторов увеличиваются с ростом активности звезды. Причем усиление активности Солнца периодически повторяется в начале каждого нового цикла, условно называемого «одинадцатилетним» [11]. Согласно официальным данным Центра прогнозирования космической погоды (Space Weather Prediction Center, США), относительно недавно завершился 24-й солнечный цикл (минимальная активность зарегистрирована в декабре 2019 г.) и начался 25-й с прогнозом максимальной активности между ноябрем 2024 г. и мартом 2026 г. В результате увеличения излучения на разных частотах и усиления потоков частиц происходит сжатие магнитосферы и возрастание напряженности геомагнитного поля. Таким образом, зарождается геомагнитная буря – глобальное возмущение магнитосферы Земли [12].

Необходимо принять во внимание, что существует определенный временной разрыв между возникновением гелиогеофизических возмущений и проявлениями ответных реакций на них со стороны физиологического состояния организма человека. У большинства людей такие реакции наблюдаются с момента начала глобального возмущения магнитосферы Земли, на 2–3-й день после солнечной вспышки. Однако некоторые люди проявляют чувствительность за 1–2 дня до зарождения геомагнитной бури. Такой эффект частично объясняется многокомпонентностью солнечного воздействия и разной скоростью движения этих компонентов: расстояние Солнце – Земля электромагнитное излучение любого диапазона проходит за 8–10 мин, а корпускулярные потоки – лишь за 24–30 ч [13].

Важно заметить, что влияние солнечной активности на процессы, происходящие в живой природе на всех уровнях организации биологических

систем, в том числе на здоровье человека и заболеваемость населения, и даже на социально-исторические события, было установлено еще в 20-х гг. прошлого века А.Л. Чижевским, крупным советским ученым и основоположником современной гелиобиологии. С тех пор накоплено множество фактов воздействия флуктуаций физических полей околоземного пространства, нарушающих функционирование различных физиологических систем организма человека [12, 14]. Согласно современным представлениям, наиболее чувствительными к изменениям космической погоды являются сердечно-сосудистая и нервная системы, что подтверждается наблюдениями возрастания заболеваемости и смертности пациентов с патологией этих систем в периоды возмущений магнитосферы [15–19].

Более того, установлено различие в показателях системы крови у здоровых людей в годы максимальной и минимальной активности Солнца [20–21]. При этом для практической медицины важно учитывать влияние на организм не только усредненных за большой промежуток времени, но и индивидуальных колебаний солнечной активности: всплеск и спадов в отдельные дни. Стоит заметить, что такие проявления солнечной активности приводят к аномальным усилениям солнечного ветра, вызывающим геомагнитные бури. Колебания геомагнитных полей могут выступать в качестве фактора риска для здоровья человека, поскольку способствуют нарушению согласованности ритмики биологических процессов у живых организмов с внешнесредовой цикличностью [22].

Можно отметить также, что мощные магнитные возмущения иногда возникают по неопределенным причинам. При этом сложно установить источник данных флуктуаций, так как на Солнце не наблюдается заметных активных событий, направленных в сторону планеты Земля. В качестве примера можно привести крупнейшую с 2019 г. магнитную бурю планетарного масштаба уровня G3, зарегистрированную 12 мая 2021 г. По сведениям Лаборатории рентгеновской астрономии Солнца Физического института Российской академии наук [23], уровень геомагнитных возмущений достигал в максимуме бури значения Kp-индекса, равного 7, по девятибалльной шкале. Пик бури пришелся на вечер, между 15-м и 21-м часами по московскому времени. Фактически это был один очень короткий и сильный космический удар по Земле. Солнечные вспышки, регистрировавшиеся в эти дни, происходили на участках Солнца, заметно удаленных от направления на Землю. Буря отсутствовала в прогнозе.

Отмечается, что «принимающими элементами» внешнего магнитного сигнала могут служить молекулярные образования, такие, например, как парамагнитные свободные радикалы. Парамагнетизм данных реакционно-активных частиц обусловлен наличием неспаренного электрона на внешнем валентном слое, что делает их нестабильными. Эти же образования являются промежуточными участниками биохимической реакции одноэлектронного переноса.

Таким образом, геомагнитные вариации по такому механизму и осуществляют управление свободнорадикальными процессами превращения веществ» [24].

Для определения геомагнитной активности используются различные физические показатели (Кр-, Ар-, G-индекс и др.). Наиболее часто применяется Кр-индекс, который является мерой изменчивости геомагнитного поля. Данный показатель обозначает отклонение магнитного поля планеты Земля от нормального состояния в течение трехчасового интервала. Его значения варьируются от 0 до 9 и вычисляются как среднее из показаний нескольких геомагнитных обсерваторий, расположенных между 44 и 60 градусами северной и южной широт. Продолжительность геомагнитных бурь сравнительно недолгая (от 6–7 ч до нескольких суток), после чего физические параметры геомагнитного поля обычно принимают свои начальные значения. G-индекс характеризует интенсивность вариаций геомагнитной бури по пятибалльной шкале с градацией их уровней от G1 (слабые бури) до G5 (экстремально сильные бури) [25, 26].

На сегодняшний день недостаточно изучены механизмы воздействия возмущений геомагнитного поля на биологические системы, в том числе и на человека. Одним из подходов к выявлению механизмов такого воздействия может служить поиск магниточувствительных маркеров [27].

Цель исследования – оценка зависимости активности ферментативного звена антиоксидантной системы защиты от возмущений геомагнитного поля.

Материалы и методы. Материалами исследования послужили образцы крови, полученные от условно здоровых добровольцев, проживающих на территории Нижегородской области ($n = 37$). Забор биоматериала осуществлялся в период с сентября 2019 г. по февраль 2020 г. в утренние часы – с 08:00 до 09:00. Возраст доноров варьировался от 19 до 58 лет. Для оценки влияния геомагнитной обстановки на антиоксидантную систему защиты были выбраны ферменты первого звена внутриклеточной защиты от активных форм кислорода – супероксиддисмутаза (СОД) и каталаза. Активность СОД определяли по ингибированию скорости восстановления нитросинего тетразолия в неэнзиматической системе феназинметасульфата и никотинамидадениндинуклеотида (НАДН)¹. Активность каталазы определяли спектрофотометрически в эритроцитах крови по изменению оптической плотности в области поглощения пероксида водорода [28]. Силу геомагнитных возмущений оценивали по величине планетарного Кр-индекса, значения которого на территории Нижегородской области в день забора биоматериала были получены из интернет-ресурса www.thesis.lebedev.ru [23]. Это официальный сайт Лаборатории рентгеновской астрономии Солнца Физического института Российской академии наук,

ведущей непрерывное наблюдение за состоянием Солнца. Взаимосвязь данных оценивали при помощи корреляционного анализа по Спирмену.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследования установлена статистически значимая корреляция между активностью антиоксидантных ферментов эритроцитов и планетарным Кр-индексом (рис. 1 и 2).

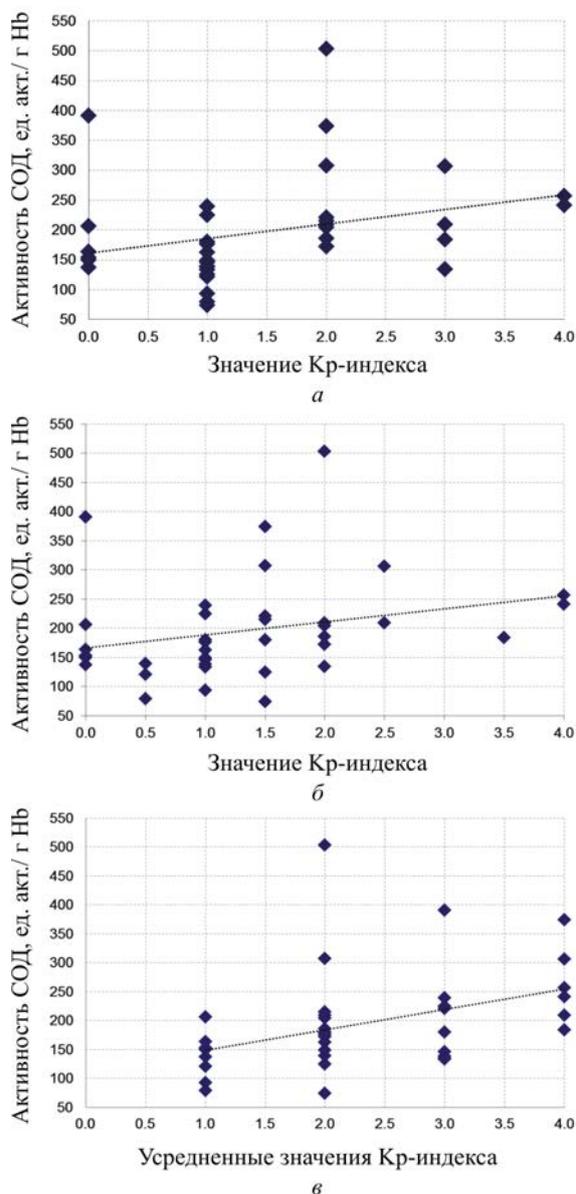


Рис. 1. Корреляционное поле зависимости активности антиоксидантного фермента супероксиддисмутазы от геомагнитной обстановки: *a* – за 2,5–3,0 ч до забора крови (коэффициент корреляции Спирмена $r = 0,44$; $p = 0,007$); *b* – в момент забора крови (коэффициент корреляции Спирмена $r = 0,37$; $p = 0,013$); *v* – усредненные значения в дату забора крови (коэффициент корреляции Спирмена $r = 0,50$; $p = 0,002$)

¹ Арутюнян А.В., Дубинина Е.Е., Зыбина Н.Н. Методы оценки свободнорадикального окисления и антиоксидантной системы организма. – СПб.: Фолиант, 2000. – 104 с.

В дни с более высокими значениями Кр-индекса наблюдалось увеличение активности ферментов СОД и каталазы в эритроцитах крови здоровых добровольцев. При этом к геомагнитной обстановке более чувствительной была СОД: выявлены статистически значимые положительные корреляции со значениями планетарного Кр-индекса как за 2,5–3,0 ч до отбора крови (см. рис. 1, а), так и со значениями при заборе биоматериала (см. рис. 1, б), а также со средними значениями планетарного Кр-индекса за весь день, в который проводилось исследование (см. рис. 1, в). Корреляционная взаимосвязь между активностью каталазы и геомагнитной обстановкой была выявлена только со значениями Кр-индекса за 2,5–3,0 ч до отбора крови (см. рис. 2).

Известно, что СОД и каталаза являются высокоспециализированными антиоксидантными ферментами. Супероксиддисмутаза катализирует реакцию дисмутации супероксида до пероксида водорода и кислорода. Каталаза участвует в процессе разложения перекиси водорода, тем самым предотвращая образование гидроксильных радикалов при взаимодействии пероксида водорода с ионами железа или меди по реакции Фентона [29].

На основе полученных данных корреляционной взаимосвязи геомагнитной активности с активностью анализируемых ферментов косвенно можно предположить, что геомагнитная обстановка непосредственно влияет на уровень продукции супероксидного радикала, а, как известно, основным источником супероксидного аниона в эритроцитах является неферментативное спонтанное окисление гемоглобина в метгемоглобин (рис. 3). Это согласуется с концепцией В.П. Реутова [1], согласно которой Fe^{2+} -содержащие белки являются мишенью действия геомагнитного поля. Умеренность выраженности корреляционной связи, вероятно, связана, во-первых, с тем, что в период исследования не было отмечено сильных магнитных бурь, а во-вторых, с индивидуальными особенностями добровольцев.

Слабо выраженную взаимосвязь активности каталазы с геомагнитной обстановкой за несколько часов до забора биоматериала можно объяснить тем, что со стороны магнитного поля Земли нет прямого действия на генерацию пероксида водорода H_2O_2 в эритроцитах крови. Вместо этого обнаруживается только косвенное влияние через реакцию дисмутации, катализируемой СОД, в результате которой происходит образование перекиси водорода, в соответствии с чем меняется и активность каталазы (см. рис. 3).

Выводы. Таким образом, косвенно показано, что одним из механизмов влияния геомагнитного поля на живые организмы является изменение уровня продукции супероксидного радикала. Активиза-

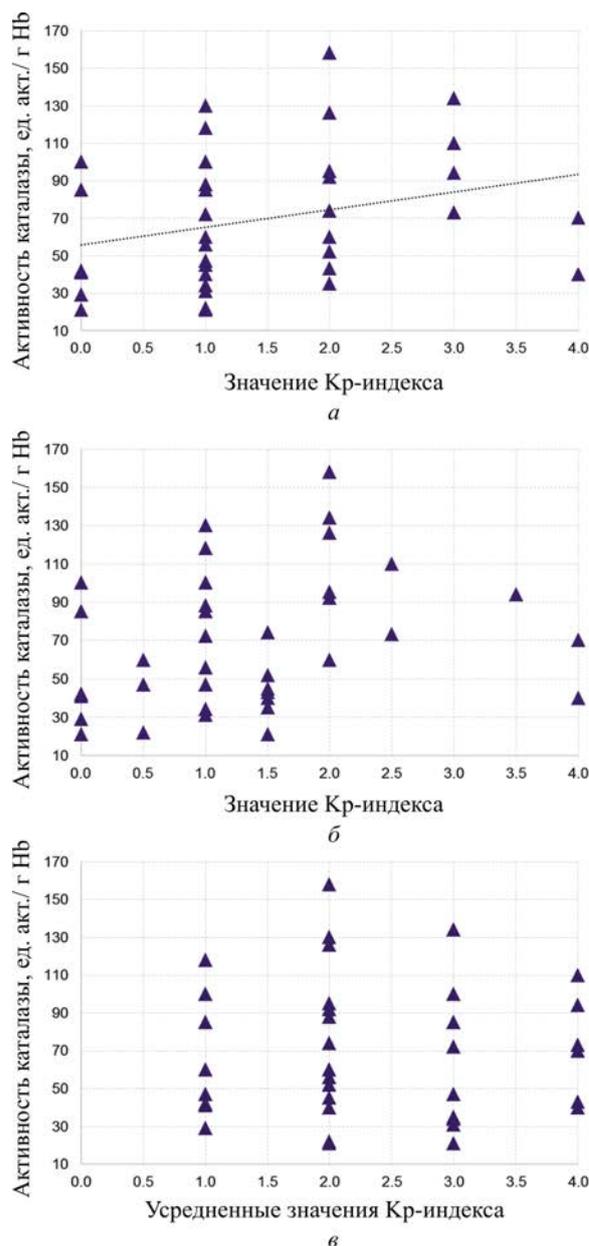


Рис. 2. Корреляционное поле зависимости активности антиоксидантного фермента каталазы от геомагнитной обстановки: а – за 2,5–3,0 ч до забора крови (коэффициент корреляции Спирмена $r = 0,34$; $p = 0,041$); б – в момент забора крови (коэффициент корреляции Спирмена $r = 0,32$; $p > 0,05$); в – усредненные значения в дату забора крови (коэффициент корреляции Спирмена $r = -0,01$, $p > 0,05$)

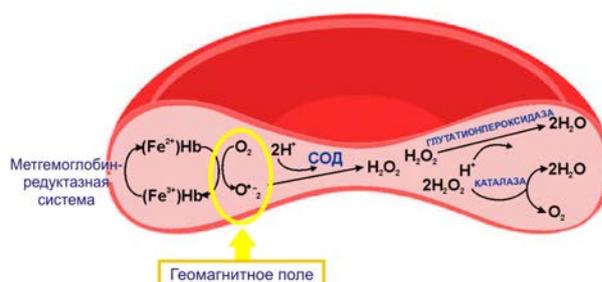


Рис. 3. Схема генерации и нейтрализации супероксидного радикала и перекиси водорода в эритроцитах крови

ция процессов свободнорадикального окисления может способствовать прогрессированию как развития, так и течения целого ряда заболеваний (особенно сердечно-сосудистых и нервно-психических). Поэтому целесообразно провести оценку реактивности антиоксидантной системы защиты на геомаг-

нитные флуктуации при патологических изменениях в организме.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Реутов В.П. На пути к созданию теории влияния космической погоды на организм человека: новая концепция. Мишени для гелио- и геомагнитных вариаций: возможная роль Fe^{2+} -содержащих белков и SH-содержащих низкомолекулярных соединений и белков/ферментов, участвующих в процессах дыхания, образовании АТФ и циклических превращениях газотрансмиттеров // Евразийское Научное Объединение. – 2017. – Т. 1, № 8 (30). – С. 42–53.
2. Основные механизмы, обуславливающие развитие метеотропных реакций / М.Ю. Яковлев, А.Д. Салтыкова, А.Д. Банченко, Т.П. Федичкина, С.Н. Нагорнев, В.В. Худов, А.В. Балакаева, И.П. Бобровницкий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 10. – С. 187–192.
3. Космическая погода: взаимосвязь между действием физических и химических факторов на живые организмы / В.П. Реутов, С.С. Паршина, С.Н. Самсонов, Е.Г. Сорокина // Евразийское научное объединение. – 2017. – Т. 1, № 9 (31). – С. 47–58.
4. Long-Term Study of Heart Rate Variability Responses to Changes in the Solar and Geomagnetic Environment / A. Alabdulgader, R. McCraty, M. Atkinson, Y. Dobyns, A. Vainoras, M. Ragulskis, V. Stolc // Scientific reports. – 2018. – № 8 (1). – P. 2663. DOI: 10.1038/s41598-018-20932-x
5. Palmer S.J., Rycroft M.J., Cermack M. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface // Surveys in Geophysics. – 2006. – Vol. 27, № 5. – P. 557–595. DOI: 10.1007/s10712-006-9010-7
6. Заславская Р., Щербань Э., Тейблэм М. Влияние метеорологических и геомагнитных факторов на сердечно-сосудистую систему // International Independent Scientific Journal. – 2021. – № 23-1. – С. 5–15.
7. Сороко С.И. Влияние космогеофизических факторов на живые организмы // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. – 2019. – Т. 23, № 2. – С. 69–81.
8. Зенченко Т.А., Бреус Т.К. Влияние климата и погоды на самочувствие и здоровье людей. Современные представления // Географические исследования. – 2020. – № 3. – С. 80–96. DOI: 10.17223/25421379/16/7
9. Исследование свободнорадикальных процессов в организме крыс на фоне изменения состояния внешней среды / К.С. Кулакова, Д.В. Давыденко, Т.Г. Щербатюк, В.В. Чернов, М.А. Макушева // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2010. – Т. 4, № 1. – С. 100–108.
10. Куликов В.Ю., Утюпина К.Ю., Краснер Я.А. Влияние магнитных бурь на особенности психофизиологического статуса у студентов [Электронный ресурс] // Медицина и образование в Сибири. – 2011. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-magnitnyh-bur-na-osobennosti-psihofiziologicheskogo-statusa-u-studentov> (дата обращения: 09.08.2021).
11. Hathaway D.H. The Solar Cycle // Living reviews in solar physics. – 2015. – Vol. 12, № 4. DOI: 10.1007/lrsp-2015-4
12. Цандеков П.А. Механизм влияния космофизических флуктуаций на состояние организма человека // Самарский научный вестник. – 2014. – Т. 4, № 9. – С. 136–138.
13. Никберг И.И. Влияние геомагнитных бурь на здоровье человека // Новости медицины и фармации. – 2014. – Т. 488, № 4. – С. 16–17.
14. Изменения катехоламинов и реологических характеристик крови людей под воздействием гелиогеофизических факторов / Ю.Я. Варакин, В.Г. Ионова, Е.А. Сазанова, Н.П. Сергеев // Экология человека. – 2013. – № 7. – С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2013-7-27-33>
15. Влияние гелиогеофизических возмущений на гемореологические параметры у здоровых людей / Ю.Я. Варакин, В.Г. Ионова, Г.В. Горностаева, Е.А. Сазанова, Р.В. Тедорадзе // Земский врач. – 2011. – № 2. – С. 21–24.
16. Exploring the relationship between geomagnetic activity and human heart rate variability / M. Mattoni, S. Ahn, C. Fröhlich, F. Fröhlich // Eur J Appl Physiol. – 2020. – Vol. 120, № 6. – P. 1371–1381. DOI: 10.1007/s00421-020-04369-7
17. Обоснование возможности защиты биологических объектов от вариаций космической погоды / Б.М. Владимировский, Н.А. Темуриянц, К.Н. Туманянц, Е.Н. Чужан // Пространство и Время. – 2017. – Т. 28-29-30, № 2-3-4. – С. 301–308.
18. Associations between Space Weather Events and the Incidence of Acute Myocardial Infarction and Deaths from Ischemic Heart Disease / V. Vaičiulis, J. Vencloviėnė, A. Tamošiūnas, D. Kiznys, D. Lukšienė, D. Krančiukaitė-Butylkinienė, R. Radišauskas // Atmosphere. – 2021. – Vol. № 12, № 3. – P. 306. DOI: 10.3390/atmos12030306
19. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects / R. McCraty, M. Atkinson, V. Stolc, A. Alabdulgader, A. Vainoras, M. Ragulskis // Int. J. Environ. Res. Public. Health. – 2017. – Vol. 14, № 7. – P. 770. DOI: 10.3390/ijerph14070770
20. The Effects of Space and Terrestrial Weather Factors on Arterial Stiffness and Endothelial Function in Humans / Y.I. Gurfinkel, V.A. Ozheredov, T.K. Breus, M.L. Sasonko // Biophysics. – 2018. – Vol. 63, № 2. – P. 299–306. DOI: 10.1134/S0006350918020094
21. Стерликова И.В. Исследование влияния корпускулярного агента солнечной активности на организм человека // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11 (ч. 3). – С. 715–721.

22. Показатели системы гемостаза и морфологического состава крови у доноров клеток крови при изменении солнечной активности в течение года / В.И. Ващенко, В.Н. Вильянинов, Е.А. Павлова, Е.Ф. Сороколетова, В.В. Лесничий, Т.Н. Ващенко, С.В. Гусев, Т.Б. Титулова // Вестник гематологии. – 2013. – Т. 9, № 2. – С. 70–74.
23. Лаборатория рентгеновской астрономии Солнца Физического института Российской академии наук: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: www.tesis.lebedev.ru (дата обращения: 02.08.2021).
24. Пирузян Л.А., Чибрикин В.М. Геомагнитное стохастическое управление жизнедеятельностью // Доклады академии наук. – 2006. – Т. 410, № 2. – С. 268–271.
25. Крылов В.В. Биологические эффекты геомагнитной активности: наблюдения, эксперименты и возможные механизмы // Труды Института биологии внутренних вод РАН. – 2018. – Т. 87, № 84. – С. 7–38. DOI: 10.24411/0320-3557-2018-10016
26. Unger S. The Impact of Space Weather on Human Health // Biomed. J. Sci. & Tech. Res. – 2019. – Vol. 22, № 1. – P. 16442–16443. DOI: 10.26717/BJSTR.2019.22.003709
27. Отклик биологических систем на геомагнитные возмущения / А.А. Баженов, М.В. Прикоп, А.С. Аверина, В.В. Суховская, А.В. Ухова // Acta Biomedica Scientifica. – 2018. – Т. 3, № 5. – С. 126–131. DOI: 10.29413/ABS.2018-3.5.18
28. Progressive increases in serum catalase activity in advancing human immunodeficiency virus infection / J.A. Leff, M.A. Oppgaard, T.J. Curiel, K.S. Brown, R.T. Schooley, J.E. Repine // Free. Radic. Biol. Med. – 1992. – Vol. 13, № 2. – P. 143–149. DOI: 10.1016/0891-5849(92)90076-S
29. Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: the interplay / A. Rahal, A. Kumar, V. Singh, B. Yadav, R. Tiwari, S. Chakraborty, K. Dhama // Biomed. Res. Int. – 2014. – № 7. – P. 612–664. DOI: 10.1155/2014/761264

Геомагнитные изменения как фактор риска развития окислительного стресса в эритроцитах крови человека / А.М. Иркаева, Е.С. Жукова, Т.Г. Щербатюк, В.В. Чернов, Л.В. Полякова, М.А. Позднякова, И.А. Умнягина // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 3. – С. 136–143. DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.13

UDC 574.24:57.045:550.386.6

DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.13.eng



Research article

GEOMAGNETIC CHANGES AS A RISK FACTOR CAUSING OXIDATIVE STRESS IN HUMAN ERYTHROCYTES

**A.M. Irkaeva^{1,2}, E.S. Zhukova¹, T.G. Shcherbatyuk^{1,3,4}, V.V. Chernov⁵,
L.V. Polyakova^{1,2}, M.A. Pozdnyakova¹, I.A. Umnyagina¹**

¹Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology, 20 Semashko Str., Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation

²Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, 23 Gagarin Ave, Nizhny Novgorod, 603022, Russian Federation

³Moscow Region State University, 24 Very Voloshinoy Str., Mytishi, 141014, Russian Federation

⁴Pushchino State Institute of Natural Science, 3 Nauki Ave., Pushchino, 142290, Russian Federation

⁵Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, 46 Ulyanov Str., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

At present impacts exerted by heliogeophysical factors on different living organisms are being examined more and more intensely. Over the last decade, it has been detected that meteorological factors play an important role in formation of adaptation mechanisms in living systems. Sun and earth interaction is also known to directly influence rheological properties of human blood, both in a healthy body and in case there are chronic non-communicable diseases. Given that, impacts exerted by “cosmic weather” on living organisms, people in particular, are a stimulus to perform profound studies on reactions occurring as a response to effects produced by solar and geomagnetic activity, first of all, solar flares and magnetic storms.

At present the most widely used approach to determining influences exerted by the Earth magnetic field on biological systems involves searching for correlations between different parameters of living organisms functioning and geomagnetic indexes.

Our research goal was to assess dependence between enzymatic activity of antioxidant protection system, exemplified by superoxide dismutase (SOD) and catalase, and geomagnetic field disturbances.

The research focused on examining blood samples taken from conditionally healthy volunteers living in Nizhny Novgorod region. SOD and catalase activity were determined in blood erythrocytes with spectrophotometry. Geomagnetic disturbances force was determined as per planetary Kp-index value.

The research established a statistically significant correlation between SOD and catalase activity and a value of geomagnetic field disturbance; this correlation allows making an indirect assumption that geomagnetic conditions directly influence superoxide radical production in a body.

Therefore, a change in superoxide radical production is a way for the geomagnetic field to influence living organisms. Activation of free radical oxidation can make for both occurrence and more intense clinical course of several diseases (especially cardiovascular and neuropsychic ones). So, in future it is advisable to assess reactivity of antioxidant protection system as a response to geomagnetic fluctuations in case there are pathologic changes in a body.

Key words: geomagnetic disturbances, solar activity, heliobiology, Kp-index, superoxide dismutase, catalase, magnetic sensitivity, human body.

References

1. Reutov V.P. Na puti k sozdaniyu teorii vliyaniya kosmicheskoi pogody na organizm cheloveka: novaya kontseptsiya. Misheni dlya gelio- i geomagnitnykh variatsii: vozmozhnaya rol' Fe²⁺-soderzhashchikh belkov i SH-soderzhashchikh nizkomolekulyarnykh soedinenii i belkov/fermentov, uchastvuyushchikh v protsessakh dykhaniya, obrazovaniya ATF i tsiklicheskiykh prevrashcheniyakh gazotransmitterov [On the way to creating a theory on influence exerted by cosmic weather on a human body: a new concept. Targets for helio- and geomagnetic variations: a probable role by Fe²⁺-containing proteins and SH-containing low molecular compounds and proteins/enzymes that participate in breathing, ATP formation and cyclic transformations of gas transmitters]. *Evrasiiskoe Nauchnoe Ob"edinenie*, 2017, vol. 1, no. 8 (30), pp. 42–53 (in Russian).
2. Yakovlev M.Yu., Saltykova A.D., Banchenko A.D., Fedichkina T.P., Nagornev S.N., Khudov V.V., Balakaeva A.V., Bobrovnikii I.P. Basic mechanisms corresponding development of metotropic reactions and use of climate procedures of preventive direction. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2018, no. 10, pp. 187–192 (in Russian).
3. Reutov V.P., Parshina S.S., Samsonov S.N., Sorokina E.G. Kosmicheskaya pogoda: vzaimosvyaz' mezhdu deistviem fizicheskikh i khimicheskikh faktorov na zhivye organizmy [Cosmic weather: a correlation between impacts exerted by physical and chemical factors on living organisms]. *Evrasiiskoe Nauchnoe Ob"edinenie*, 2017, vol. 1, no. 9 (31), pp. 47–58 (in Russian).
4. Alabdulgader A., McCraty R., Atkinson M., Dobyns Y., Vainoras A., Ragulskis M., Stolz V. Long-Term Study of Heart Rate Variability Responses to Changes in the Solar and Geomagnetic Environment. *Scientific reports*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 2663. DOI: 10.1038/s41598-018-20932-x
5. Palmer S.J., Rycroft M.J., Cermack M. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface. *Surveys in Geophysics*, 2006, no. 27, pp. 557–595. DOI: 10.1007/s10712-006-9010-7
6. Zaslavskaya R., Shcherban' E., Teiblyum M. Impact of meteorological and geomagnetic factors on cardiovascular system. *International Independent Scientific Journal*, 2021, no. 23-1, pp. 5–15 (in Russian).
7. Soroko S.I. Influence of cosmogeophysical factors on living organisms. *Vestnik obrazovaniya i razvitiya nauki Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 69–81 (in Russian).
8. Zenchenko T.A., Breus T.K. Potential impacts of weather and climate slow variations on human health and wellness. Current perspectives. *Geosfernye issledovaniya*, 2020, no. 3, pp. 80–96. DOI 10.17223/25421379/16/7 (in Russian).
9. Kulakova K.S., Davydenko D.V., Shcherbatyuk T.G., Chernov V.V., Makusheva M.A. Investigation of free-radical processes in rat organisms on the background of environmental changes. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*, 2010, vol. 4, no. 1, pp. 100–108 (in Russian).

© Irkaeva A.M., Zhukova E.S., Shcherbatyuk T.G., Chernov V.V., Polyakova L.V., Pozdnyakova M.A., Umnyagina I.A., 2021
Anastasiya M. Irkaeva – laboratory assistant-researcher; 1st year postgraduate student (e-mail: irkaeva-anastasiya@inbox.ru; tel.: +7 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4509-2151>).

Evgeniya S. Zhukova – Researcher, Head of laboratory (e-mail: evgenya_plekhanova@mail.ru; tel.: +7 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9016-2390>).

Tatiana G. Shcherbatyuk – Doctor of Biological Sciences, Professor; Professor at Pushchino State Institute for Natural Sciences, Chief Researcher at Moscow State Regional University, Chief Researcher at Nizhny Novgorod Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology (e-mail: ozone_stg@mail.ru; tel.: +7 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1144-8006>).

Vladimir V. Chernov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior researcher at the Applied Physics Institute of the Russian Academy of Sciences (e-mail: vcher@appl.sci-nnov.ru; tel.: +7 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0871-5954>).

Lyubov V. Polyakova – laboratory assistant-researcher; 1st year postgraduate student (e-mail: polaykova2016@mail.ru; tel.: +7 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7056-734X>).

Marina A. Pozdnyakova – Doctor of Medical Sciences, Professor; a member of the Association for Hygienic Organizations and Experts “Hygienists Union”, Chief Researcher, Head of the Department for Medical and Preventive Technologies for Public Health Risk Management, Head of the Center for Postgraduate Professional Medical Education of Nizhny Novgorod Scientific Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology (e-mail: prof_pozdnyakova@mail.ru; tel.: +7 (831) 436-00-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7767-6098>).

Irina A. Umnyagina – Candidate of Medical Sciences, Director (e-mail: recept@nniigp.ru; tel.: +7 (831) 419-61-94; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9276-7043>).

10. Kulikov V.Yu., Utyupina K.Yu., Krasner Ya.A. Influence of magnetic storms on features of psychophysiological status of students. *Meditsina i obrazovanie v Sibiri*, 2011, no. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-magnitnykh-bur-na-osobennosti-psihofiziologicheskogo-statusa-u-studentov> (09.08.2021) (in Russian).
11. Hathaway D.H. The Solar Cycle. *Living reviews in solar physics*, 2015, vol. 12, no. 4. DOI: 10.1007/lrsp-2015-4
12. Tsandekov P.A. Influence of cosmophysical fluctuations on the man. *Samarskii nauchnyi vestnik*, 2014, vol. 9, no. 4, pp. 136–138 (in Russian).
13. Nikberg I.I. Vliyanie geomagnitnykh bur' na zdorov'e cheloveka [Effects produced by geomagnetic storms on human health]. *Novosti meditsiny i farmatsii*, 2014, vol. 488, no. 4, pp. 16–17 (in Russian).
14. Varakin Yu.Ya., Ionova V.G., Sazanova E.A., Sergeenko N.P. Changes of catecholamins and rheological characteristics of human blood under influence of heliogeophysical factors. *Ekologiya cheloveka*, 2013, no. 7, pp. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2013-7-27-33> (in Russian).
15. Varakin Yu.Ya., Ionova V.G., Gornostaeva G.V., Sazanova E.A., Tedoradze R.V. Impact of heliogeophysical disturbances on haemorheological parameters in healthy people. *Zemskii vrach*, 2011, no. 2, pp. 21–24 (in Russian).
16. Mattoni M., Ahn S., Fröhlich C., Fröhlich F. Exploring the relationship between geomagnetic activity and human heart rate variability. *Eur J Appl Physiol*, 2020, vol. 120, no. 6, pp. 1371–1381. DOI: 10.1007/s00421-020-04369-7
17. Vladimirsky B.M., Temuryants N.A., Tumanyants K.N., Chuyan E.N., Biological objects protection from the space weather variations: possibility of substantiation. *Prostranstvo i Vremya*, 2017, vol. 28-29-30, no. 2-3-4, pp. 301–308 (in Russian).
18. Vaičiulis V., Vencloviene J., Tamošiūnas A., Kiznyš D., Lukšienė D., Krančiukaitė-Butylkinienė D., Radišauskas R. Associations between Space Weather Events and the Incidence of Acute Myocardial Infarction and Deaths from Ischemic Heart Disease. *Atmosphere*, 2021, vol. 12, no. 3, pp. 306. DOI: 10.3390/atmos12030306
19. McCraty R., Atkinson M., Stolc V., Alabdulgoder A., Vainoras A., Ragulskis M. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2017, vol. 14, no. 7, pp. 770. DOI: 10.3390/ijerph14070770
20. Gurfinkel Y.I., Ozheredov V.A., Breus T.K., Sasonko M.L. The Effects of Space and Terrestrial Weather Factors on Arterial Stiffness and Endothelial Function in Humans. *Biophysics*, 2018, vol. 63, no. 2, pp. 299–306. DOI: 10.1134/S0006350918020094
21. Sterlikova I.V. Research of influence of the corpuscular agent of solar activity on the human organism. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2012, no. 11 (part 3), pp. 715–721 (in Russian).
22. Vashchenko V.I., Vil'yaninov V.N., Pavlova E.A., Sorokoletova E.F., Lesnichii V.V., Vashchenko T.N., Gusev S.V., Titulova T.B. Indices of hemostatic system and differential blood counts in blood donors upon changes in annual solar activity and its random perturbances. *Vestnik gematologii*, 2013, vol. 9, no. 2, pp. 70–74 (in Russian).
23. Laboratory of X-Ray Astronomy of the Sun, LPI. Available at: www.thesis.lebedev.ru (02.08.2021).
24. Piruzyan L.A., Chibrikov V.M. Geomagnetic stochastic control of vital activity. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2006, vol. 410, no. 1, pp. 267–269. DOI: 10.1134/S1607672906050048
25. Krylov V.V. Biological effects of geomagnetic activity: observations, experiments and possible mechanisms. *Trudy Instituta biologii vnutrennikh vod RAN*, 2018, vol. 87, no. 84, pp. 7–38. DOI: 10.24411/0320-3557-2018-10016 (in Russian).
26. Unger S. The Impact of Space Weather on Human Health. *Biomed. J. Sci. & Tech. Res.*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 16442–16443. DOI: 10.26717/BJSTR.2019.22.003709
27. Bazhenov A.A., Prikop M.V., Averina A.S., Sukhovskaya V.V., Ukhova A.V. Response of biological systems to geomagnetic storms. *Acta Biomedica Scientifica*, 2018, vol. 3, no. 5, pp. 126–131. DOI: 10.29413/ABS.2018-3.5.18 (in Russian).
28. Leff J.A., Oppegard M.A., Curiel T.J., Brown K.S., Schooley R.T., Repine J.E. Progressive increases in serum catalase activity in advancing human immunodeficiency virus infection. *Free. Radic. Biol. Med.*, 1992, vol. 13, no. 2, pp. 143–149. DOI: 10.1016/0891-5849(92)90076-S
29. Rahal A., Kumar A., Singh V., Yadav B., Tiwari R., Chakraborty S. Dhama K. Oxidative stress, prooxidants, and anti-oxidants: the interplay. *Biomed. Res. Int.*, 2014, no. 7, pp. 612–664. DOI: 10.1155/2014/761264

Irkaeva A.M., Zhukova E.S., Shcherbatyuk T.G., Chernov V.V., Polyakova L.V., Pozdnyakova M.A., Umnyagina I.A. Geomagnetic changes as a risk factor causing oxidative stress in human erythrocytes. Health Risk Analysis, 2021, no. 3, pp. 136–143. DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.13.eng

Получена: 10.08.2021

Принята: 17.08.2021

Опубликована: 30.09.2021