

*К.В. Комзин, А.А. Стрекаловская, П.Г. Петрова,
С.С. Паришина, С.Н. Самсонов*

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ВОЗМУЩЕНИЯМИ ГЕОМАГНИТНОГО ФОНА И ОТВЕТОМ СО СТОРОНЫ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНДАРТНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Аннотация. Целью исследования является разработка методики обработки данных оценки чувствительности сердечно-сосудистой системы человека к возмущениям геомагнитного фона с использованием стандартных методов статистического анализа. Изучались показатели функциональной деятельности сердечно-сосудистой системы (коэффициент симметрии зубца Т) при регистрации ЭКГ-сигнала

КОМЗИН Кирилл Васильевич – ст. преп. каф. гистологии и микробиологии медицинского института ФГАОУ «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова». Адрес: 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Ойунского, 27. E-mail: de_trout@mail.ru

КОМЗИН Kirill Vasylyevich – Senior Lecturer, Department of Histology and Microbiology, Institute of Medicine, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University. Address: 677000, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, ul. Oyunskogo, 27. E-mail: de_trout@mail.ru

ПЕТРОВА Пальмира Георгиевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры нормальной и патологической физиологии медицинского института ФГАОУ «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова». Адрес: 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Ойунского, 27. E-mail: mira_44@mail.ru

PETROVA Palmira Georgievna – Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Normal and Pathological Physiology, Institute of Medicine, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University. Address: 677000, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, ul. Oyunskogo 27. E-mail: mira44@mail.ru

СТРЕКАЛОВСКАЯ Алена Анатольевна – канд. мед. наук, доцент кафедры нормальной и патологической физиологии медицинского института ФГАОУ «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Адрес: 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Ойунского, 27. E-mail: a_strekalovskaya@mail.ru

STREKALOVSKAYA Alena Anatolyevna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Normal and Pathological Physiology, Institute of Medicine, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University. Address: 677000, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, ul. Oyunskogo 27. E-mail: a_strekalovskaya@mail.ru

САМСОНОВ Сергей Николаевич – канд. физ.-мат. наук, ФГБУН «Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера» Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория магнитосферных частиц. Адрес: 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, пр. Ленина 31. E-mail: s_samsonov@ikfia.ysn.ru

SAMSONOV Sergey Nicolaevich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Laboratory of Magnetospheric Particles, Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Yakutsk. Address: 677000, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, pr. Lenina, 31. E-mail: s_samsonov@ikfia.ysn.ru

ПАРШИНА Светлана Серафимовна – доктор мед. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России. Адрес: 410012, Приволжский федеральный округ, Саратовская область, г. Саратов, ул. Большая Казачья, 112. E-mail: 1parshinasvetlana@mail.ru

PARSHINA Svetlana Serafimovna – Doctor of Medical Sciences, Professor, V. I. Razumovsky Saratov State Medical University of the Ministry of Health of Russia. Address: 410012, Saratov Oblast, Saratov, ul. Bolshaya Kazachya, 112. E-mail: 1parshinasvetlana@mail.ru

в фазовом пространстве координат. В дальнейшем проводилось сопоставление полученных данных с колебаниями суточного индекса геомагнитной возмущенности. Для оценки связи между изучаемыми параметрами использовали стандартные статистические методы (критерий χ^2 и точный критерий Фишера). Результатом проведенной работы является рабочий и в достаточной степени оригинальный алгоритм обработки данных, позволяющий разграничить людей, чувствительных к возмущениям геомагнитного фона и нечувствительных к этому фактору. В случае, описанном в качестве примера, выявлена статистически значимая связь между наличием геомагнитной возмущенности и отклонениями показателей деятельности сердечно-сосудистой системы от нормальных значений. Предложенный подход может быть использован не только для выявления связи между суточным уровнем геомагнитной возмущенности и показателями работы сердечно-сосудистой системы, но и для решения других подобных задач.

Ключевые слова. Кр-индекс, геомагнитная возмущенность, кардиочувствительность, коэффициент симметрии зубца Т.

*K.V. Komzin, A.A. Strekalovskaya, P.G. Petrova,
S.S. Parshina, S.N. Samsonov*

THE EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN DISTURBANCES OF THE GEOMAGNETIC BACKGROUND AND THE RESPONSE FROM THE CARDIOVASCULAR SYSTEM USING STANDARD STATISTICAL SOLUTIONS

Abstract. The purpose of this work is to present the mechanism of statistical data processing necessary to assess the sensitivity of the human cardiovascular system to geomagnetic disturbances. However, the approach proposed by us can be used not only to identify the relationship between the daily level of geomagnetic disturbance and the performance of the cardiovascular system, but also to solve other similar problems. Materials and methods, namely, standard statistical techniques, such as χ^2 , and Fisher's exact test, allowed us to find the solution necessary to establish the relationship between the level of disturbance of the geomagnetic background (Kp-index) and indicators of the functional activity of the cardiovascular system (T-wave symmetry coefficient), when registering an ECG signal in the phase space of coordinates. This paper considers a case in which the data obtained from the study of the values of the symmetry coefficient of the T wave of an anonymous patient appear, as well as a series of data reflecting fluctuations in the daily index of geomagnetic disturbance recorded daily for 24 days of the study. The result of the work carried out is a working and sufficiently original data processing algorithm that makes it possible to distinguish between people who are sensitive to geomagnetic background disturbances and those who are insensitive to this factor. In the case described as an example in this paper, a significant relationship was found between the presence of geomagnetic disturbance and deviations of the indicators of the activity of the cardiovascular system from normal values, of a functional nature, as evidenced by the significance level $p < 0.05$ obtained for the χ^2 criterion, and the exact criterion Fisher, whose value was 0.04977.

Keywords: Kp-index, geomagnetic disturbance, cardiac sensitivity, T-wave symmetry coefficient.

Введение.

Изучение влияния каких-либо внешних факторов на процессы жизнедеятельности организма человека, безусловно, является одним из главных задач фундаментальной медицинской науки. Одним из направлений этих исследований является изучение влияния гелиогеофизических факторов на сердечно-сосудистую систему и организм человека в целом.

В работах, посвященных методам оценки чувствительности сердечно-сосудистой системы человека к возмущениям геомагнитного фона, в качестве изучаемых факторов чаще фигурируют такие показатели, как Кр-индекс (Кр), который отражает глобальную возмущенность магнитного поля Земли и коэффициент симметрии зубца Т (КСТ), характеризующий функциональное

состояние сердечно-сосудистой системы человека в момент исследования, измеряемый при помощи электрокардиографии в фазовом пространстве координат [4, 5]. Методики, используемые в этих исследованиях, обладают индивидуальным набором преимуществ и недостатков. Например, в работах некоторых авторов был использован метод визуально-графической интерполяции максимумов Кр-индекса и КСТ и с использованием обычных графиков, построенных в двухмерной системе координат, отражающих изменения КСТ и Кр-индекса во времени [2, 3, 6]. Несмотря на простоту и наглядность данной методики, она не позволяет в достаточной мере четко разграничить кардиочувствительных людей и некардиочувствительных. В качестве решения данной задачи в работах других авторов был предложен автоматизированный алгоритм обработки данных КСТ и Кр-индекса, основанный на оценке среднего расстояния между максимумами КСТ и Кр-индекса, на графиках временной зависимости [7]. По сравнению с предыдущей методикой, данный подход имеет ряд явных преимуществ, например, позволяет четко разграничить наличие и отсутствие кардиочувствительности у обследуемого. Алгоритм данной методики реализован в виде отдельной компьютерной программы, интерфейс которой позволяет выполнить в том числе и пакетную обработку. Однако имеются и недостатки, среди которых одним из главных является крайне высокая чувствительность к пропущенным значениям. Кроме того, организовать непрерывное и ежедневное исследование показателей работы сердечно-сосудистой системы добровольцев в течение всего периода исследования (два месяца) на практике затруднительно.

В предыдущих работах авторского коллектива было описано отражающее реакцию сердечно-сосудистой системы на возмущения геомагнитной обстановки в околоземном космическом пространстве явление, названное термином «кардиочувствительность» [1, 2, 3]. Целью данного исследования является разработка методики обработки данных оценки чувствительности сердечно-сосудистой системы человека к возмущениям геомагнитного фона с использованием стандартных методов статистического анализа.

Материалы и методы.

Определение чувствительности к геомагнитным возмущениям проводилось путем сопоставления максимумов геомагнитной возмущённости (Кр-индекс) с максимумами значений коэффициента симметрии зубца Т(КСТ). Одним из преимуществ такого подхода является относительно невысокая чувствительность к пропущенным значениям.

Доброволец, результаты исследования которого были использованы в качестве примера для данной работы, дал добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Возраст – 35 лет, пол – мужской. В течение 24 дней при помощи аппаратно-программного комплекса «Фазаграф» ежедневно регистрировалась ЭКГ с целью оценки функциональных характеристик процессов реполяризации миокарда и определения значения коэффициента симметрии зубца Т [4,5].

Данные о характеристиках геомагнитной возмущённости были предоставлены лабораторией магнитосферных частиц института космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН (г. Якутск).

Статистическая обработка данных проводилась с использованием критерия Хи-квадрат и точного критерия Фишера с использованием программного комплекса Microsoft Excel.

Результаты исследования.

Рассмотрим особенности обработки данных о реакции сердечно-сосудистой системы человека на возмущения геомагнитного фона по предлагаемой методике на примере показателей добровольца А. За 24 дня (1.03.2018 – 30.04.2018) наблюдения был получен ряд значений КСТ (синие точки на графике) и значения Кр-индекса (желтая кривая на графике) обозначенные на рис. 1. Для наглядности данные были сокращены и скорректированы, однако реальные данные, полученные в результате применения данной методики, отличаются лишь размером выборки и выраженностью эффекта.

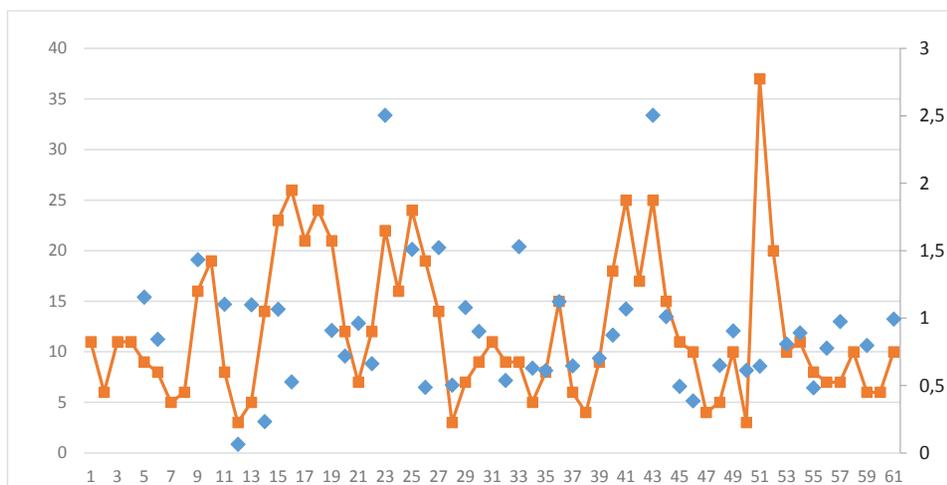


Рис. 1. Значения КСТ и Кр-индекса, полученные на протяжении всего периода исследований

Так как нас интересует взаимосвязь между наличием ответа со стороны сердечно-сосудистой системы и геомагнитной возмущенностью без учета меры этих явлений, мы можем представить данные в виде двух рядов независимых дихотомических переменных. Например, при наличии возмущенности со стороны геомагнитной обстановки – данный день обозначается как «1», нет возмущенности – «0». «Возмущенным» – в рамках данного алгоритма считается день, в который выполняется следующие условия:

$$(1) A_n > 0$$

$$(2) A_{n-1} < A_n > A_{n+1};$$

$$(3) A_{n-1} - A_{n-2} > |A_n - A_{n-1}| < A_n - A_{n+1} \text{ и } A_n - A_{n-1} > |A_{n+1} - A_n| < A_{n+1} - A_{n+2},$$

где A – значение Кр-индекса в наблюдаемый день.

Обоснованность условий (1) и (2) – очевидна, обоснованность условия (3) объясняется необходимостью распознавать возмущения, продолжающиеся в течение двух и более дней. Степень интенсивности геомагнитных возмущений в расчет не бралась, так как целью данного этапа исследования являлось выявление факта чувствительности к геомагнитным возмущениям, однако данный аспект может стать предметом изучения в рамках последующих исследований.

Визуально выполнение вышеупомянутых условий будет выглядеть так (рис. 2).

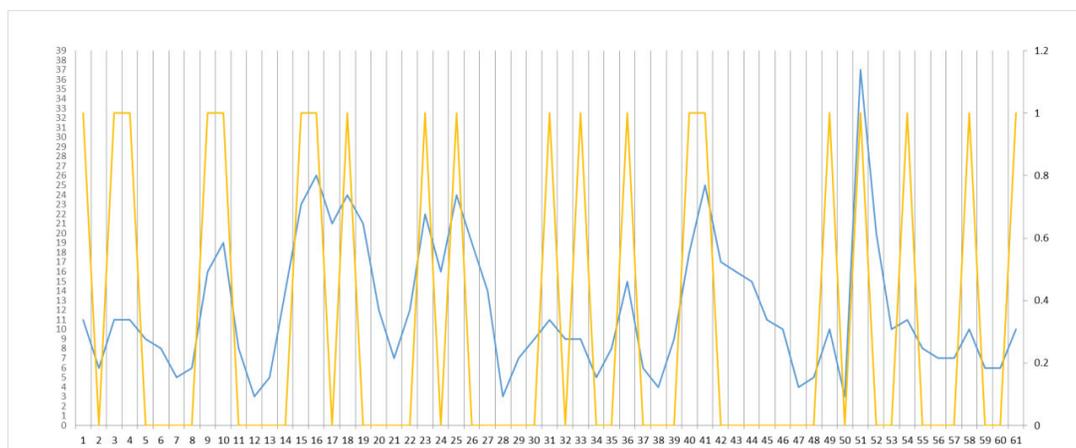


Рис. 2. График, отражающий изменения Кр-индекса в течение периода наблюдений (темная синяя линия), и области возмущенности, вычисленные в соответствии с заданными условиями (1), (2) и (3) (желтая светлая линия)

Полученные сведения о наличии или отсутствии возмущенности геомагнитной обстановки можно представить в виде ряда бинарных значений (табл. 1), где условно «возмущенный» день обозначается – «1», а условно «невозмущенный» – «0».

Таблица 1 – Фрагмент ряда значений наличия или отсутствия возмущенности в первые 24 дня исследования, полученный в результате преобразования ряда точных значений Кр-индекса

Возму- щенность	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Кр- индекс	11	6	11	11	9	8	5	6	16	19	8	3	5	14	23	26	21	24	21	12	7	12	22	16
День исследо- вания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

То же самое касается ответа со стороны сердечно-сосудистой системы (КСТ). Если в рассматриваемый день имеется значение КСТ, которое превосходит в численной мере значения обоих соседних дней, то значение КСТ в наблюдаемый день рассматривается как максимум. Если пациент пропустил день исследования, то значение Кр-индекса в этот день так же не участвует в расчетах. Если пациент пропустил день исследования, который предшествует изучаемому, тогда нам приходится ориентироваться на последующий. Если пропущен последующий – то на предыдущий. Если отсутствуют и последующее, и предыдущее, тогда значение наблюдаемого дня сравнивается со средним значением всего ряда. Формулы этих условий можно представить в следующем виде:

(1) $R_n > 0$;

(2) Если $R_n > 0$, $R_{n-1} > 0$ или $R_{n+1} > 0$; и выполняется $R_{n-1} < R_n > R_{n+1}$, то R_n – является максимумом;

(3) Если $R_n > 0$, $R_{n-1} = 0$ и $R_{n+1} = 0$; и выполняется $R_n > \sum_n / n$, то R_n – является максимумом,

где R_n – значение КСТ, наблюдаемое в рассматриваемый (n) день.

Полученные сведения о наличии или отсутствии максимумов КСТ в определенные дни исследования также можно представить в виде ряда бинарных значений и наложить их на данные, полученные в результате предыдущего шага (табл. 2).

Таблица 2 – Фрагмент ряда значений наличия или отсутствия возмущенности в первые 24 дня исследования, полученный в результате преобразования ряда точных значений Кр-индекса и коэффициента симметрии зубца Т

Кр- индекс	11	6	11	11	9	13	5	6	16	19	8	3	16	14	23	26	21	24	21	12	7	12	22	16
Возму- щенность	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Макси- мум КСТ	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
Совпаде- ния КСТ и возму- щенность	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
КСТ					0. 62	0. 82	0. 73	0. 89	0. 66		0. 80	0. 76	0. 78	0. 80	1. 01	0. 77		0. 80	0. 61	1. 11	0. 78	0. 71	0. 75	
День ис- следова- ния	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Обратим внимание на первые четыре значения в строке «возмущенность», они равны нулю и не учитываются в расчетах, так как значения КСТ в эти дни отсутствуют по причине пропусков этих дней пациентом. Таким образом, из 24 имеющихся наблюдений обработаны будут 17. Наряду с этим следует отметить, что если обратить внимание на график изображенный на рис. 4, то можно увидеть, что данный алгоритм учитывает за возмущенное состояние только вершину(ы) пиков формируемых кривой, отражающей изменения Кр-индекса, следовательно момент предшествующий этому состоянию учитывается как «0», однако если учесть общие закономерности адаптации организма к различным факторам окружающей среды и вместе с тем, рассматривая колебания КСТ в качестве адапционного ответа сердечно-сосудистой системы, на наш взгляд, справедливо будет ожидать максимум КСТ либо в момент подъема Кр-индекса, то есть в день исследования, предшествующий тому, где наблюдался сам максимум Кр-индекса, либо в день самого максимума. Именно поэтому в девятой точке в строке «Совпадение КСТ и возмущенность» стоит единица, обозначающая наличие совпадения. Вышеописанную информацию можно представить в виде графика (рис. 3).

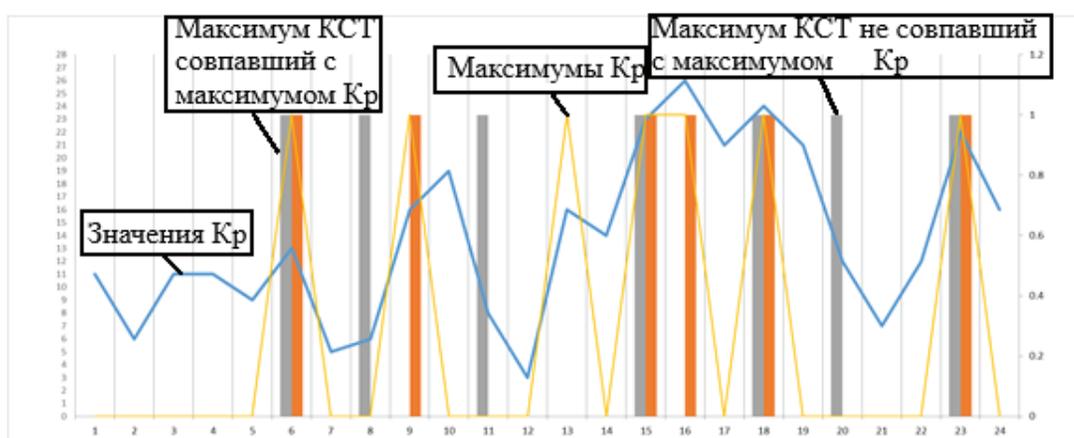


Рис. 3. График отражающий точки совпадения максимумов КСТ с максимумами геомагнитной возмущенности

Итак, после вышеупомянутых действий нами получены два ряда независимых порядковых переменных, наличие связей между которыми нам требуется установить при помощи стандартных статистических методов, а именно ряд «возмущенность» и ряд «максимумов КСТ», однако этот ряд можно заменить на «Совпадения КСТ и возмущенности», который в свою очередь учитывает совпадение реакции сердечно-сосудистой системы на подъем Кр-индекса, ещё не достигшего максимального значения. Для выявления связи между двумя рядами независимых дихотомических порядковых переменных используется метод таблиц сопряженности 2x2 и статистика Хи-квадрат [8], однако с учетом малого количества ($n < 5$) наблюдений в какой-либо ячейке таблицы рекомендуется использовать точный критерий Фишера [8]. Таблица сопряженности в таком случае будет иметь следующий вид (табл. 3):

Таблица 3 – Таблица сопряженности 2x2 для значений, полученных после обработки первых 24 дней исследования для пациента А

Геомагнитная обстановка	Есть максимум КСТ	Нет максимума КСТ	Итого
Есть возмущенность	6	1	A+B=7
Нет возмущенности	3	7	C+D=10
Всего	A+C=9	B+D=8	N=17

В результате расчетов данной таблицы сопряженности получаем следующие данные (табл. 4):

Таблица 4 – Статистические критерии, вычисленные для таблицы сопряженности 2x2 для значений, полученных после обработки первых 24 дней исследования для пациента А (из таблицы 3)

Наименование критерия	Значение критерия	Уровень значимости
Критерий Хи-квадрат	5,130	0,024
Критерий Хи-квадрат с поправкой на правдоподобие	5,549	0,019
Точный критерий Фишера (двусторонний)	0,04977	$p < 0,05$

Значение точного критерия Фишера для данной выборки оказалось равным 0,04977, что меньше, чем критический уровень значимости $p=0,05$, что в свою очередь позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии взаимосвязи между изучаемыми признаками «возмущенность» и «КСТ» при критическом уровне значимости $p=0,05$ (табл. 4). Исходя из этого можно сделать вывод о наличии у пациента А. чувствительности к геомагнитным возмущениям (наличие «кардиочувствительности»). Если значение точного критерия Фишера оказывается больше, чем 0,05, то нулевая гипотеза в отношении взаимосвязи между «возмущенностью» и «КСТ» принимается, что говорит об отсутствии чувствительности субъекта к геомагнитной возмущенности (отсутствии «кардиочувствительности»). Также следует отметить, что статистика, основанная на критерии Хи-квадрат, позволяет оценить не только наличие взаимосвязи между изучаемыми признаками, но и силу этой взаимосвязи при помощи критерия ϕ (фи). В данном случае критерий ϕ равен 0,549, что согласно рекомендациям Rea&Parkeг интерпретируется как «относительно сильная взаимосвязь». Для оценки силы взаимосвязи могут быть использованы и другие статистические критерии, такие как коэффициент сопряженности Пирсона или критерий Чупрова, также отношение шансов и относительный риск, что в дальнейшем может быть использовано для оценки степени чувствительности к геомагнитным возмущениям. Однако в рамках данного этапа работы таких задач перед нами не стояло, и мы сочли достаточным ограничиться лишь установлением факта чувствительности.

Заключение.

Результатом проведенной работы является рабочий и в достаточной степени оригинальный алгоритм обработки данных, позволяющий разграничить людей, чувствительных к возмущениям геомагнитного фона и нечувствительных к этому фактору. В описанном в данной работе случае выявлена статистически значимая связь между наличием геомагнитной возмущенности и отклонениями показателей деятельности сердечно-сосудистой системы от нормальных значений. Подход, описанный в рамках данной статьи, пригоден и для любых других похожих ситуаций, при которых нужно выявить связь между двумя явлениями, имеющими непрерывный характер и наблюдаемыми в течение определенного промежутка времени.

Литература

1. Самсонов С.Н., Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Петрова П.Г. Влияние космической погоды на заболевания сердечно -сосудистой системы человека в субавроральных широтах // Геофизические процессы и биосфера. Т.12. № 4. С.67-80. 2013.
2. Петрова П.Г., Стрекаловская А.А., Комзин К.В. Глава 2. Реакция организма человека на внешние возмущения/ Биотропное воздействие космической погоды. Под ред.М.В. Рагульской. М.: ИЗМИРАН, 2010. С. 312.
3. Самсонов С.Н., Петрова П.Г., Соколов В.Д., Стрекаловская А.А., Макаров Г.А., Иванов К.И. Гелио-геофизическая возмущенность и обострения сердечно-сосудистых заболеваний // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Инсулт. 2005. № 14. С. 18-22.

4. Файнзильберг Л.С. Основы фазографии. – Киев: Освита Украины, 2017. – 264 с.
5. Файнзильберг Л.С. ФАЗАГРАФ® – эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца // Клиническая информатика и телемедицина. – 2010. – Т. 6. – Вып. 7. – С. 22-30.
6. Sergey N. Samsonov, Veronika I. Manykina, Natalia G. Kleimenova, Svetlana S. Parshina, Alena A. Strekalovskaya, Palmira G. Petrova The helio-geophysical storminess health effects in the cardio-vascular system of a human in the middle and high latitudes Wiadomosci lekarskie (Warsaw, Poland: 1960), 69 (3), pp. 537-541, 2016.
7. Молчанов В.А., Самсонов С.Н., Паршина С.С., Петрова П.Г., Стрекаловская А.А. Методика исследования синхронизации параметров сердечно-сосудистой системы человека с параметрами космической погоды с применением компьютерных технологий // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2019) Материалы XVIII Международной конференции имени А.Ф. Терпугова. 2019. – Томск: Издательство научно-технической литературы, 2019. – С. 347-351.
8. Гржибовский, А.М. Анализ биомедицинских данных с использованием пакета статистических программ SPSS: учебное пособие /А.М. Гржибовский, Т.Н. Унгурияну. – Архангельск: Издательство Северного государственного медицинского университета, 2017. – 293 с.

References

1. Samsonov S.N., Kleimenova N.G., Kozyreva O.V., Petrova P.G. Influence of space weather on the diseases of the cardiovascular system in the sub-auroral latitudes // Geophysical processes and biosphere. Vol. 12. No. 4. P. 67-80. 2013.
2. Petrova, P.G., Strekalovskaya A.A., Komzin K.V. Chapter 2. The reaction of the human body to external perturbations/ Biotropic effects of space weather. Edited by M. V. Ragulskaya. Moscow: IZMIRAN, 2010. p. 312.
3. Samsonov S.N., Petrova P.G., Sokolov V.D., Strekalovskaya A.A., Makarov G.A., Ivanov K.I. Heliogeophysical perturbation and exacerbations of cardiovascular diseases / / Journal of Neurology and Psychiatry named after S. S. Korsakov. Stroke. 2005. No. 14. pp. 18-22.
4. Feinsilberg L.S. Fundamentals of phasography. – Kiev: Osvita Ukrainy, 2017. – 264 p.
5. Feinsilberg L.S. PHASAGRAF® – an effective information technology for ECG processing in the task of screening for coronary heart disease // Clinical Informatics and telemedicine. – 2010. – Vol. 6. – Issue 7. – p. 22-30.
6. Sergey N. Samsonov, Veronika I. Manykina, Natalia G. Kleimenova, Svetlana S. Parshina, Alena A. Strekalovskaya, Palmira G. Petrova The helio-geophysical storminess health effects in the cardio-vascular system of a human in the middle and high latitudes Wiadomosci lekarskie (Warsaw, Poland: 1960), 69 (3), pp. 537-541, 2016.
7. Molchanov V.A., Samsonov S.N., Parshina S.S., Petrova P.G., Strekalovskaya A.A. Methodology for studying the synchronization of parameters of the human cardiovascular system with the parameters of space weather using computer technologies // Information technologies and mathematical modeling (itmm-2019) Materials of the XVIII International Conference named after A.F. Terpugov. 2019. – Tomsk: Publishing House of scientific and technical literature, 2019. – pp. 347-351.
8. Grzhibovsky, A.M. Analysis of biomedical data using the SPSS statistical software package: textbook /A.M. Grzhibovsky, T.N. Unguryan. – Arkhangelsk: Publishing House of the Northern State Medical University, 2017. – 293 p.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ. Номер проекта 18-415-140002 p_a.