

УДК 612.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ФУНКЦІЇ КРОВООБІГУ ЛЮДИНИ ТА РІВНЯ ІНФРАЗВУКОВОГО ФОНУ В УМОВАХ АНТАРКТИКИ

Є. В. Моїсеєнко¹, О. І. Лящук², Є. В. Карягін²

¹ Національний антарктичний науковий центр МОН України, м. Київ
E-mail: moiseyenkoev@gmail.com

² Головний центр спеціального контролю НЦУВКЗ ДКА України

Реферат. Найбільші значення середнього рівня інфразвуку в регіоні антарктичної станції в діапазоні 6 — 7 Гц спостерігаються з липня по вересень, найнижчий — в березні. Водночас існують періоди короткочасних перевищень порогу чутливості, навіть у відносно спокійний час. При середньому рівні фону 60 дБ спостерігаються сплески, що перевищують поріг в 90 дБ. В таких умовах це може призвести до погіршення працездатності та психологічного стану зимівників на станції (особливо при порушеннях адаптації). У зв'язку з цим вивчення реакції організму зимівників на дію інфразвуку є досить актуальним.

Метою даної роботи є дослідження характеру впливу інфразвукових коливань на функцію системи кровообігу у антарктичних зимівників. Приведені дані результатів синхронного моніторингу за рік зимівлі, протягом якого з квітня по жовтень щоденно, два рази на добу, вимірювався артеріальний тиск (АТ) та частота серцевих скорочень (ЧСС) у кожного із зимівників ($n = 11$). Метеорологічні параметри атмосферного тиску, що вимірювалися із п'ятихвилинними інтервалами усереднювалися до двох значень на добу. Такій самій процедурі піддавалися значення інфразвукових вимірювань (початкова дискретність 20 Гц). Кластерний аналіз на основі величин частоти серцевих скорочень, систолічного та діастолічного артеріального тиску дозволив розділити сукупність здорових зимівників на дві групи, характеристика кожної з яких представлена особливостями кровообігу. Для встановлення факту впливу на зимівників інфразвуку проводився мультирегресійний аналіз, в результаті чого встановлено, що для кластеру «0» коефіцієнт кореляції перевищує значення 0.51. Такий результат свідчить про значний вплив на артеріальний тиск перепадів атмосферного тиску та фонового рівня інфразвуку. Показано, що група нульового кластеру взагалі сильно реагує на метеорологічні чинники, проявом яких є у тому числі інфразвук (наприклад, при зниженні атмосферного тиску часто зростає швидкість вітру в приземному шарі, а вітер і є потужним генератором інфразвуку). Практично завжди спостерігається певна залежність: при зростанні рівня інфразвуку зростає когерентність рядів фізіологічних даних. Крім того, у проміжку часу (з 1 квітня по 1 жовтня) спостерігається стійке зростання показника когерентності у всієї когорти зимівників, що може бути пов'язано з перебудовами адаптаційних механізмів, розвитком десинхронних проявів при зміні фотоперіодичності чи з іншими причинами.

При візуальному порівнянні графіків когерентності фізіологічних рядів з графіками динаміки рівня інфразвуку, можна виділити наступну закономірність: при підвищенні рівня інфразвуку спостерігається невелике збільшення рівня когерентності фізіологічних даних, що підтверджує наявність зв'язку між фізіологічними параметрами та зовнішніми чинниками.

Исследование взаимосвязи функции кровообращения человека и уровня инфразвукового фона в условиях антарктики.

Е. В. Моисеенко, А. И. Лящук, Е. В. Карягин

Реферат. Наибольшие значения среднего уровня инфразвука в регионе антарктической станции в диапазоне 6 — 7 Гц наблюдаются с июля по сентябрь, самый низкий — в марте. Вместе с тем существуют периоды

кратковременных превышений порога чувствительности, даже в относительно спокойное время. При среднем уровне фона 60 дБ наблюдаются всплески, превышающие порог в 90 дБ. В таких условиях это может привести к ухудшению работоспособности и психологического состояния зимовщиков на станции (особенно при нарушениях адаптации). В связи с этим изучение реакции организма зимовщиков на действие инфразвука является весьма актуальным. Целью данной работы является исследование характера воздействия инфразвуковых колебаний на функцию системы кровообращения антарктических зимовщиков. Приведены данные результатов синхронного мониторинга за год зимовки, в течение которого с апреля по октябрь ежедневно, два раза в сутки, измерялся артериальное давление (АД) и частота сердечных сокращений (ЧСС) у каждого из зимовщиков ($n = 11$). Метеорологические параметры атмосферного давления измерялись с пятиминутными интервалами и усреднялись до двух значений в сутки. Такой же процедуре подвергалось значение инфразвуковых измерений (начальная дискретность 20 Гц). Кластерный анализ на основе величин частоты сердечных сокращений, систолического и диастолического артериального давления позволил разделить совокупность здоровых зимовщиков на две группы, характеристика каждой из которых представлена особенностями кровообращения. Для установления факта воздействия на зимовщиков инфразвука проводился мультирегрессионный анализ, в результате чего установлено, что для кластера «0» коэффициент корреляции превышает значение 0.51. Такой результат свидетельствует о значительном влиянии на артериальное давление перепадов атмосферного давления и фонового уровня инфразвука. Показано, что группа нулевого кластера вообще сильно реагирует на метеорологические факторы, проявлением которых является в том числе инфразвук (например, при снижении атмосферного давления часто растет скорость ветра в приземном слое, а ветер является мощным генератором инфразвука). Практически всегда наблюдается определенная зависимость: при росте уровня инфразвука — растет когерентность рядов физиологических данных. Кроме того, в промежутке времени (с 1 апреля по 1 октября) наблюдается устойчивый рост показателя когерентности у всей когорты зимовщиков, что может быть связано с перестройками адаптационных механизмов, развитием десинхронизированных проявлений при измененной фотопериодике или с другими причинами. При визуальном сравнении графиков когерентности физиологических рядов с графиками динамики уровня инфразвука можно выделить следующую закономерность: при повышении уровня инфразвука наблюдается небольшое увеличение уровня когерентности физиологических данных, что подтверждает наличие связи между физиологическими параметрами и внешними факторами.

Study of the interrelationship of human circulatory function and level infrasound background in the antarctic.
E. V. Moiseyenko, O. I. Liashchuk, E. V. Karyagin

Abstract. The highest values of the average level of infrasound in the Antarctic region in the range of 6 – 7 Hz were observed from July to September, and the lowest in March. There are, however, short periods of exceedances of the threshold of sensitivity, even in the relatively quiet time. With an average level of 60 dB background waves above the threshold of 90 dB. In such conditions for winterers at the station (especially in case of adaptation), this may lead to deterioration in performance and psychological state. In this regard, the study of the reaction of the organism winterers on the effects of infrasound is very important.

The aim of this work is the study of the nature of the influence of infrasound vibrations to the function of the circulatory system in the Antarctic winterers. Given these results, simultaneous monitoring for the year of hibernation, during which from April to October, daily, twice a day, measured blood pressure (BP) and heart rate (HR) at each of the winterers ($n=11$). Meteorological parameters of the atmospheric pressure was measured with five-minute intervals were averaged to two values on the day. The same procedure was subjected to the value of infrasound measurements (initial increments of 20 Hz). Cluster analysis based on the values of heart rate, systolic and diastolic blood pressure allowed to divide the totality of healthy winterers in two groups which are represented by features of the circulation. To determine whether effects on winterers infrasound was conducted multi-regression analysis, whereby it is established that for a cluster, “0”, the correlation coefficient exceeds a value of 0.51. This result indicates a significant influence on blood pressure of atmospheric pressure and background levels of infrasound. It is shown that the zero group of the cluster in General is very sensitive to meteorological factors, manifestation of which is including infrasound (for example, by lowering the atmospheric pressure is often increased wind speed in the surface layer, and the wind is powerful infrasound generator). Almost always there is some dependence: if the level of infrasound increases the coherence of a series of physiological data. In addition, in the time interval (from 1 April to 1 October) there has been a steady growth rate of the coherence of the entire cohort winterers, that may be associated with alterations of adaptive mechanisms, development desynchronizing manifestations under changed photoperiodic, or other causes. By visual comparison of the graphs of physiological coherency series graphs of the dynamics of the level of infrasound, we can distinguish the following pattern: when the level of infrasound there is a slight increase in the level of coherence of the physiological data, which confirms the existence of a relationship between physiological parameters and external factors.

Key words: infrasound, circulation, winterers, Antarctic Station

Вступ.

Інфразвук – це механічні коливання пружного середовища, що мають однакову із шумом фізичну природу, але різняться частотою коливань, яка не перевищує 20 Гц. У повітрі інфразвук поглинається незначно. У зв'язку з цим він здатний поширюватися на великі відстані. Інфразвук характеризується інфразвуковим тиском (Па), інтенсивністю (Вт/м²), частотою коливань (Гц). Рівні інтенсивності інфразвуку та інфразвукового тиску визначаються в дБ. У виробничих умовах інфразвук утворюється при роботі тихохідних великогабаритних машин та механізмів (компресорів, металообробного обладнання, електричних та механічних приводів машин та ін.), що здійснюють обертальні або зворотно-поступальні рухи з повторним циклом до 20 разів за секунду.

Інфразвук аеродинамічного походження виникає при турбулентних процесах в потоках газів та рідин. Багато природних явищ – землетруси, виверження вулканів, морські бурі, сходження лавин тощо – супроводжуються випромінюванням інфразвукових коливань. Інфразвукові коливання сприймаються як фізичне навантаження, в результаті якого виникає втома, головний біль, запаморочення, порушується діяльність вестибулярного апарату, знижується гострота зору та слуху, порушується периферійний кровообіг, виникає відчуття страху тощо. Важкість впливу залежить від діапазону частот, рівня звукового тиску та тривалості. Низькочастотні коливання з рівнем інфразвукового тиску, що перевищує 150 дБ, людина не в змозі перенести. Неприятливі наслідки викликають інфразвукові коливання з частотою 2 – 15 Гц у зв'язку з виникненням резонансних явищ в організмі людини. Особливо небезпечною є частота 7 Гц, яка тотожна основним ритмам біопів головного мозку, що може негативно впливати на механізми регуляції функцій організму і, в першу чергу, на систему кровообігу.

Відомо, що ключовим агентом-переносником перепадів космічної погоди в біосферу є електромагнітні поля низьких і край низьких частот [1, 2, 8]. В результаті взаємодії електромагнітного випромінювання космічного походження з атмосферою можуть генеруватися інтенсивні акустичні коливання в різних діапазонах частот – від звукових до акустико-гравітаційних хвиль. Тобто космічну енергетичну дію на біосферу Землі можна розглядати як складну акустико-електромагнітну дію. Біологічні об'єкти особливо чутливі до акустичних хвиль наднизького (інфразвукового) діапазону, що викликані метеорологічними чинниками. Інфразвук на частотах 3 – 7 Гц генерують, наприклад, шторми та торнадо. Рівень інфразвуку, який є небезпечним на вказаних частотах, оцінюється в 90 дБ. При перевищенні цього значення протягом 10 – 15 хвилин у людини може погіршуватися самопочуття.

Мінливість рівня природного інфразвукового фону найбільше характерна для полярних і приполярних регіонів, що ускладнює адаптацію людини до екстремальних умов діяльності. Для вирішення проблеми захисту людини від негативного впливу інфразвуку необхідні ґрунтовні знання про особливості реакції функцій організму на впливи екологічних факторів. Тому дослідження особливостей реакції функції кровообігу людини при змінах інфразвукового оточення виконувались в умовах антарктичної станції, де відсутні впливи техногенного походження на організм.

Умови та методи дослідження

За результатами досліджень на українській антарктичній станції (УАС) «Академік Вернадський» протягом 2004 – 2011 років встановлено, що рівень патогенної складової інфразвуку в умовах Антарктики у багато разів перевищує рівень такого ж діапазону на території континентальної України [3]. Для інфразвуку характерне мале поглинання в різних середовищах. Наслідком цього є можливість реєстрації атмосферних сигналів від подій, що відбулися на великому віддаленні від пункту спостереження. Інфразвукові хвилі від дуже потужних явищ можуть огинати Землю кілька разів і проявлятися у вигляді збурення атмосферного тиску декілька діб підряд. Спектр природних і техногенних явищ, що генерують інфразвук, достатньо широкий – полярні сніга, запуск ракет, вулкани, падіння космічних тіл, шторми, урагани, землетруси, лавини, пожежі, ядерні та хімічні вибухи, інше. На УАС такий високий рівень інфразвуку викликаний безпосередньою близькістю до великих відритих водойм та явищами, що відбуваються у регіоні (Тихий та Атлантичний океан, протока Дрейка, сильні вітри та шторми, пояс зародження погоди).

Найбільші значення середнього рівня інфразвуку на УАС в діапазоні 6 – 7 Гц спостерігаються з липня по вересень, найнижчий – в березні [1]. Разом з тим існують періоди короточасних перевищень порогу чутливості, навіть у відносно спокійний час. При середньому рівні фону 60 дБ спостерігаються сплески, що перевищують поріг в 90 дБ.

Проведено обстеження учасників антарктичної експедиції 2011 – 2012 рр., протягом якої з квітня по жовтень щоденно, два рази на добу, вимірювався артеріальний тиск (АТ) та частота

серцевих скорочень (ЧСС) у кожного із зимівників (11 практично здорових чоловіків віком 23–48 років). Артеріальний тиск реєстрували за методом Короткова з використанням електронного вимірювача тиску фірми «Омрон», а частота серцевих скорочень реєструвалась методом ритмокардіографії. Реєстрація інфразвукових сигналів велася за допомогою акустичної станції К-304А, що має у своєму складі мікробарограф конденсаторного типу із частотною смугою 0.003 – 12 Гц. Режими чутливості станції –100 Па. [2] Вимірювана інформація у цифровому вигляді надходила до персонального комп'ютера для подальшої обробки. Рівень інфразвукового фону і метеорологічні параметри атмосферного тиску вимірювалися із п'ятихвилинними інтервалами та усереднювалися до двох значень на добу.

Обробка даних виконувалась за допомогою вільного програмного забезпечення для інтелектуального аналізу даних та прогнозування Weka 3.8 та програмних продуктів, розроблених авторами.

Результати досліджень та їх обговорення

Кластерний аналіз на основі величин частоти серцевих скорочень, систолічного (САТ) та діастолічного (ДАТ) артеріального тиску дозволив розділити сукупність здорових зимівників на дві групи, характеристика кожної з яких представлена особливостями кровообігу (табл. 1, рис. 1).

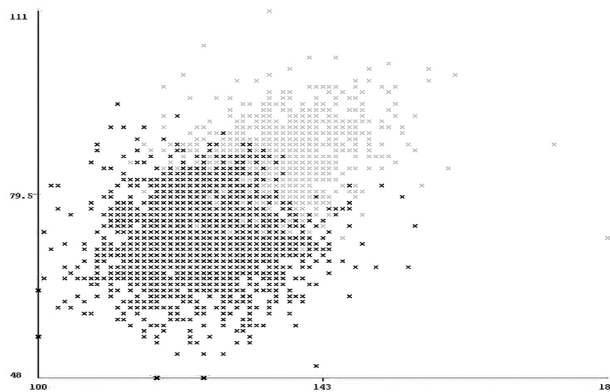


Рис. 1. Розподіл на два кластери за даними систолічного та діастолічного артеріального тиску зимівників. Вісь Y – діастолічний артеріальний тиск, X – систолічний артеріальний тиск.

Додатково були визначні такі параметри для кожного зимівника як мінімальне (min) та максимальне (max) значення АТ та ЧСС, середнє (mean) та дисперсія (std) (табл. 1).

Таблиця 1

№	Д.А.Т.				С.А.Т.				Пульт			
	min	max	mean	std	min	max	mean	std	min	max	mean	std
1	50	98	85,187	5,616	121	178	141,275	5,004	41	88	51,889	6,595
2	56	105	81,377	6,246	100	150	127,178	7,834	54	134	89,74	9,379
3	60	92	74,282	5,484	112	149	132,007	5,758	48	83	62,799	5,953
4	60	95	80,476	4,653	103	142	127,206	6,99	60	115	81,223	6,879
5	48	93	75,225	5,767	103	155	125,201	6,933	60	115	84,187	9,399
6	52	98	71,166	6,233	101	140	121,645	6,071	55	94	71,526	6,39
7	48	111	71,322	6,881	100	157	126,566	7,845	58	126	78,301	10,483
8	52	91	70,064	7,037	104	151	126,076	8,435	41	97	60,036	9,038
9	69	99	84,796	4,518	117	143	130,552	4,944	44	86	61,721	6,584
10	56	87	70,822	5,467	118	186	132,547	5,683	57	90	74,635	5,776
11	66	103	87,993	4,764	116	163	138,287	6,306	50	95	68,467	6,976

Кластерний аналіз дав схожий з попереднім результатом:
 AttributeFullData 0 1
 (11) (7) (4)

niz_max 56.0909 52.6667 60.2
 niz_min 97.4545 98.8333 95.8
 niz_mean 77.5191 74.9383 80.616
 niz_std 5.6969 6.1362 5.1698
 verh_max 108.6364 101.8333 116.8
 verh_min 155.8182 149.1667 163.8
 verh_mean 129.8673 125.6453 134.9336
 verh_std 6.5275 7.3513 5.539
 puls_max 51.6364 54.6667 48
 puls_min 102.0909 113.5 88.4
 puls_mean 63.978 64.0412 63.9022
 puls_std 7.5865 8.5947 6.3768
 Timetaketobuildmodel (fulltrainingdata) : 0 seconds
 — Model and evaluation on training set —
 Clustered Instances
 0 7 (64%)
 1 4 (36%)

Інфразвук. Для встановлення факту впливу на зимівників інфразвуку проводився мульти-регресійний аналіз, в результаті чого встановлено, що для кластеру «0» коефіцієнт кореляції перевищує значення 0.51. Такий результат свідчить про значний вплив на артеріальний тиск параметрів атмосферного тиску та інфразвуку. Водночас для кластеру «1» зв'язок слабкий та помірний (рис.2).

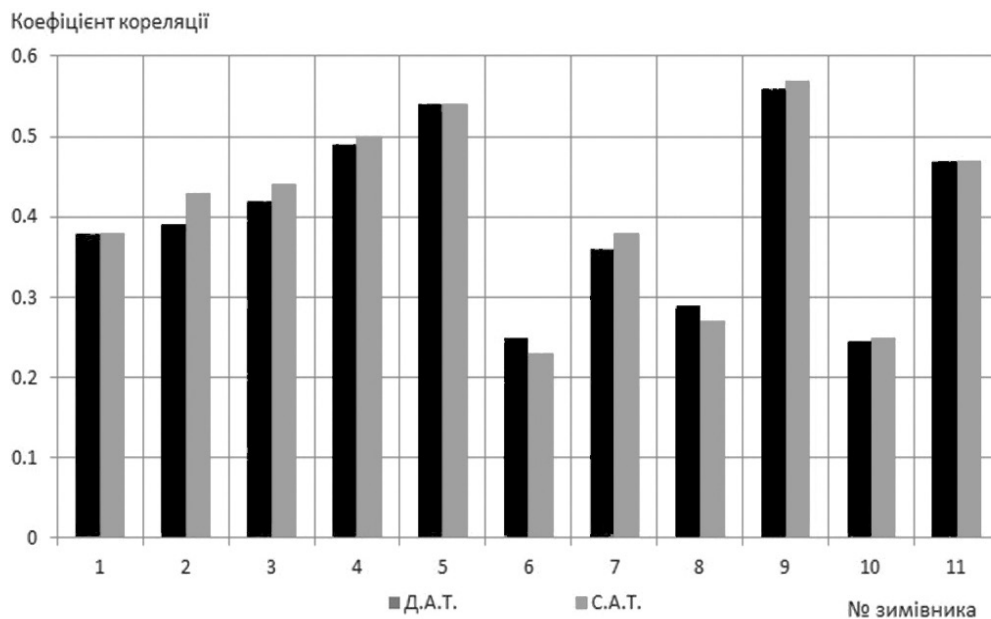


Рис. 2. Залежність артеріального тиску зимівників від впливу інфразвуку.
 САТ — систолічний артеріальний тиск, ДАТ — діастолічний артеріальний тиск.

За графічними даними зимівники розподіляються на дві групи, одна з яких характеризується виразним взаємозв'язком функції кровообігу зі змінами рівня інфразвукового фону, а для іншої групи такі відношення були недостовірними. З огляду на тривалий термін перебування в Антарктиці та індивідуальність реалізації функціональних резервів організму можливе припущення про те, що

реакції кровообігу на зміни інфразвукового навантаження можуть залежати від ступеню чутливості і напруження регуляторних механізмів організму в процесі адаптації до екстремальних умов Антарктики.

Було проведено оцінювання залежності артеріального тиску від атмосферного тиску за місяцями. Порівняльний графік розподілу коефіцієнтів кореляції за місяцями між зимівниками 5 і 6, та 9 і 10 представлений на рис. 3. Ліві графіки — залежність діастолічного тиску від зовнішніх факторів, праві — систолічного. Видно, що група нульового кластера взагалі сильно реагує на метеорологічні чинники, проявом яких є у тому числі інфразвук (наприклад, при зниженні атмосферного тиску часто зростає швидкість вітру в приземному шарі, а вітер є потужним генератором інфразвуку).

Мінімум значень припадає на серпень місяць (місцева зима), що пов'язано із специфікою погоди в регіоні. Травень і вересень — періоди сильних вітрів.

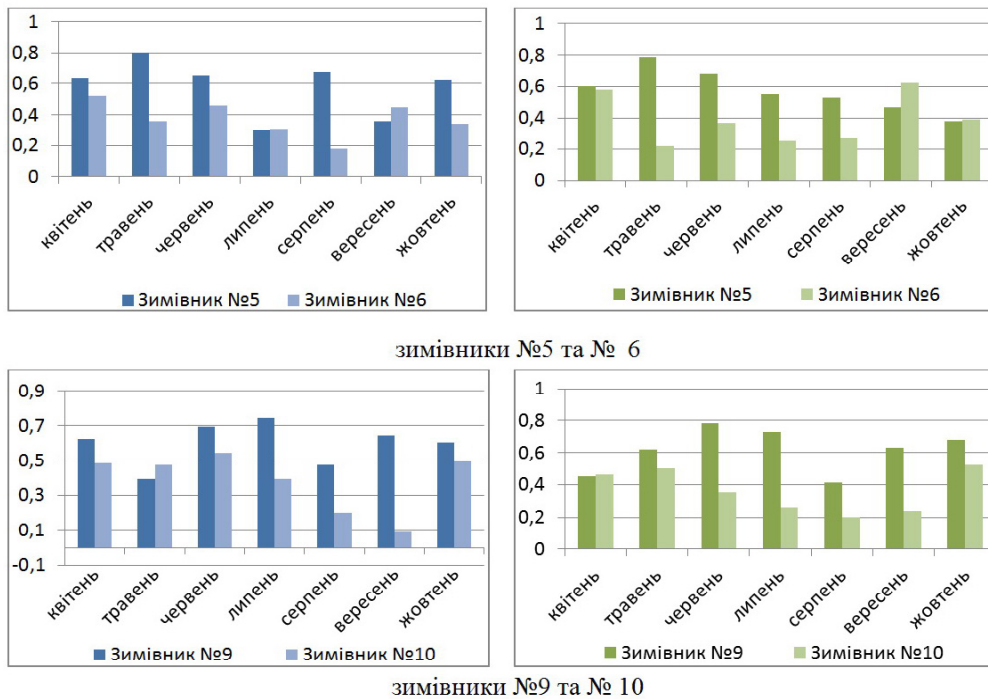


Рис. 3. Графік розподілу коефіцієнтів кореляції (вісь Y) за місяцями (вісь X).

Для виявлення ділянок із максимальною схожістю у всіх зимівників був застосований алгоритм F-статистики, який реалізований авторами у вигляді програмного коду. Ставилось завдання знайти такі ділянки часу, коли реакція на зовнішні чинники в усіх зимівників була однаковою. Значення статистичного показника Фішера — це масштабована міра числового ряду, що зростає за наявності когерентних ділянок (узгодженість кількох коливальних і хвильових процесів у часі). У разі відсутності такої одночасної реакції значення показника буде низьким.

Для довільного числа каналів і часового «вікна» що складається з довільного числа відліків, значення статистики Фішера можна розрахувати за допомогою співвідношення [4]:

$$F = \frac{T(C-1)}{C(T-1)} \frac{\sum_{i=1}^T \left[\sum_{c=1}^C x_{ct} \right]^2}{\sum_{i=1}^T \sum_{c=1}^C x_{ct}^2 - \frac{1}{C} \sum_{i=1}^T \left[\sum_{c=1}^C x_{ct} \right]^2}$$

де: T — кількість відліків в часовому вікні; C — кількість зимівників; X_{ct} — значення вимірних фізіологічних параметрів у вікні; F — значення функції для вікна T .

Нижче, на рис. 4 — 6 представлені результати групової обробки алгоритмом F-статистики систолічного, діастолічного тисків, пульсу зимівників та значень інфразвукового фону. На всіх графіках вісь Y — значення статистичного показника Фішера, вісь X — дата.

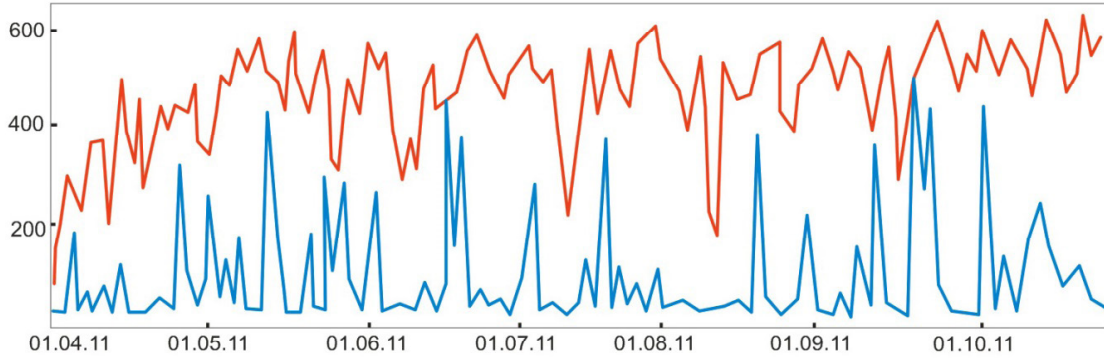


Рис. 4. Варіації значень показників F-статистики для ряду систолічного тиску(згори) і ряду рівня інфразвуку (внизу).

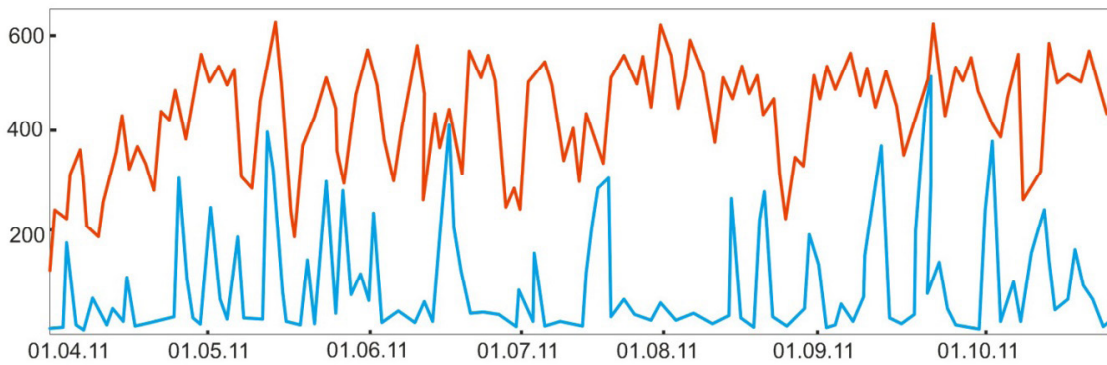


Рис. 5. Варіації значень показників F-статистики для ряду діастолічного тиску(згори) і ряду рівня інфразвуку (внизу).

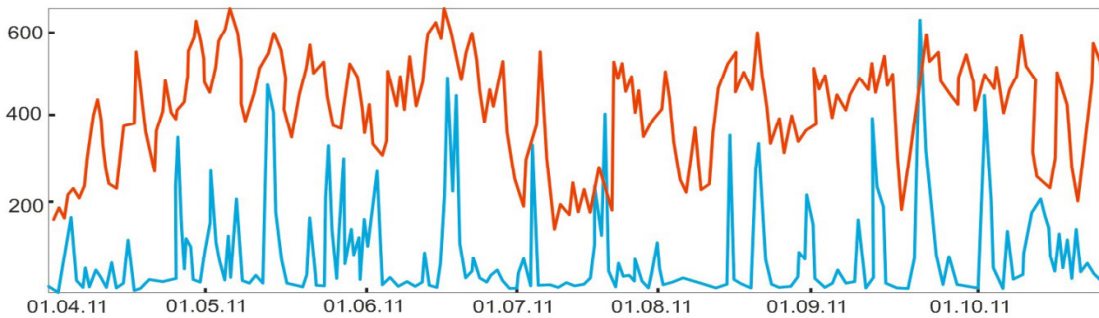


Рис. 6. Варіації значень показників F-статистики для ряду пульсу(згори) і ряду рівня інфразвуку(внизу).

На переважній більшості графіків спостерігається певна залежність: при зростанні рівня інфразвуку зростає когерентність рядів фізіологічних даних. Крім того, у проміжку часу від 1 квітня 2011 року до 15 травня 2011 року спостерігається стійке зростання показника когерентності у всіх зимівників. При візуальному порівнянні графіка когерентності фізіологічних рядів з графіком рівня інфразвуку можна виділити таку закономірність: при підвищенні рівня інфразвуку спостерігається невелике збільшення рівня когерентності фізіологічних даних, що підтверджує наявність зв'язку між фізіологічними параметрами та зовнішніми чинниками. Такі прояви синхронності змін показників, що досліджуються, можуть бути обумовлені особливостями реалізації адаптаційних механізмів, що поступово вичерпуються з плином часу. З іншого боку, реакції функції кровообігу можуть бути пов'язані з сезонними коливаннями рівня природного інфразвукового фону.

Отже, застосування математичного аналізу бази даних синхронної моніторингової реєстрації показників функції кровообігу та рівня інфразвукового фону при тривалому перебуванні людини в Антарктиці дає змогу визначити нові особливості реакції організму на зміни факторів навколишнього середовища, що полягають у динамічному зростанні чутливості серцево-судинної системи до інфразвукового навантаження при збільшенні тривалості перебування в Антарктиці. Визначення індивідуальних реакцій організму на впливи інфразвукового навантаження і ймовірних термінів, коли можуть очікуватись надзвичайні явища в період зимівлі, дозволить організувати дієву систему профілактики порушень адаптації, особливо стосовно системи кровообігу людини. Однак для підвищення достовірності отриманих результатів необхідно продовжити роботи з накопичення статистичних рядів даних фізіологічних і геофізичних параметрів.

Література

1. **Liashchuk.** «Technical and algorithmic complex of monitoring of the dangerous geodynamics phenomena». Геофизический журнал. — Институт геофизики им. С. И. Субботина НАНУ. : 2010. — Вип. 4 (том 32). — С. 87–88.
2. **Гордиенко Ю. А.** Построение систем акустического группирования для реализации инфразвукового мониторинга / Гордиенко Ю. А., Карягин Е. В., Лящук А. И., Солонец А. И. // Системы обработки информации. — Х. : ХУПС. — 2006. — Вип. 3 (52). — С. 36 — 42.
3. **Даценко І. І.** Гігієна і екологія людини : навч. посіб. — Львів : Афіша, 2000. — 248 с.
4. **Джигирей В. С.** Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навч. посіб. — К. : «Знання, КОО», 2000. — С. 92 — 98.
5. **Никитин Д. П., Новиков Ю. В.** Окружающая среда и человек. — М. : «Высшая школа», 1986. — С. 50—157.
6. **Кобзарь А. И.** Прикладная математическая статистика. М. : Физматлит, 2006. — 816 с.
7. **Моїсеєнко Е. В.,** Глоба Л. С., Моїсеєнко Т. Е. Применение информационных технологий в медико-биологических исследованиях Антарктики. Актуальні проблеми економіки. Науковий економічний журнал (є у наукометричних каталогах і базах даних: SciVerseScopus -0,187, та Index Copernicus — 9,21) —2014. — № 11 (161), — С. 394 — 398.
8. **Мірошниченко О. А.,** Моїсеєнко Є. В., Литвинов В. А. Основи психофізіологічних та психологічних досліджень операторів в екстремальних умовах діяльності : підручник. Житомир : «Рута», 2015. — 296 с.