НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Наталія Голуб
«05» 06 2023 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»

спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

на тему: «Аналіз впливу низькочастотних флуктуацій магнітного поля на реакцію метахромазії волютинових гранул дріжджів»

Виконав (-ла):
студент (-ка) IV курсу, групи БМ-91
Опаленик Михайло Михайлович _____

Керівник:
Професор кафедри біоінформатики,
д.б.н., проф. Горго Юрій Павлович _____

Рецензент:
професор кафедри промислової біотехнології,
д.ф.-м.н., проф. Литвинов Григорій Сергійович _____

Засвідчую, що у цьому дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»
Освітньо-професійна програма «Біотехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри_____Наталія ГОЛУБ
«17»_____04_____2023_ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Опаленик Михайло Михайлович

1. Тема роботи «Аналіз впливу низькочастотних флуктуацій геомагнітного поля на реакцію метахромазії волютинових гранул дріжджів»,
науковий керівник роботи Горго Юрій Павлович, д. б. н., професор,
затверджений наказом по університету від «22» травня 2023 р. № 1888-с
2. Термін подання студентом роботи 05.06. 2023_____
3. Вихідні дані до роботи:
Об'єкт - сформовані масиви кількісних значень реакції метахромазії волютинових гранул та середніх одногодинних значень інтенсивності геомагнітного поля, об'єднаних в часі та місці моніторингу;
Предмет - визначення коефіцієнтів кореляції між низькочастотними флуктуаціями геомагнітного поля та реакцією метахромазії волютинових гранул дріжджів *Saccharomyces cerevisiae;*
Мета - виявлення значень напруженості геомагнітного поля на частотах нижче 1Гц для розрахунків коефіцієнтів кореляції з кількісно оціненими змінами реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів;
Завдання:
- вивчити методику проведення моніторингу визначення реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та її кількісних зачень;
- розробити програму визначення та порівняння флуктуацій напруженості магнітного поля Землі на частотах 0,1, 0,01 та 0,001 Гц;
- створити масиви даних реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів та одногодинних і добових значень низькочастотних характеристик геомагнітного поля за 2009 р. у м. Києві;

- провести розрахунки коефіцієнтів кореляції за Спірменом між значеннями реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів та одногодинними і добовими значеннями низькочастотних характеристик геомагнітного поля.

4. Зміст роботи - провести аналіз впливу низькочастотних флуктуацій напруженості геомагнітного поля на кількісно оцінені зміни реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів *Saccharomyces cerevisiae,* шляхом графічних порівнянь та розрахунків коефіцієнтів кореляції.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) *презентація*

6. Дата видачі завдання 17. 04. 2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення особливостей проведення реакції метахромазії волютинових гранул	17.04 - 23. 04 2023	виконано
2	Розробка програми визначення інтенсивності геомагнітного поля на низьких частотах	24. 04 - 7.05 2023	виконано
3	Створення масивів даних та розрахунки коефіцієнтів кореляції	8. 05 - 21. 05 2023	виконано
4	Підготовка огляду літератури та матеріалів і методів	22.05 - 28. 05 2023	виконано
5	Підготовка експериментальної частини	29. 05 - 4.06 2023	виконано
6	Аналіз отриманих результатів та підготовка висновків	5. 06 - 11. 06 2023	виконано
7	Оформлення дипломної роботи та її презентації для захисту	12.06 - 15. 06 2023	виконано

Студент Михайло ОПАЛЕНИК

Керівник Юрій ГОРГО

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 65 стор., 14 рисунки, 3 таблиці, 41 посилань

Актуальною проблемою сьогодення є аналіз та визначення впливу геомагнітного поля та його наднизькочастотних характеристик на живі організми. Це стосується і характеристик волютинових гранул, які в клітинах є місцями накопичення поліфосфатів. Вони проявляють складну взаємодію з навколишнім середовищем та можуть відзиватися на різні зовнішні стимули, включаючи магнітне поле. Тому дослідження впливу низькочастотних коливань магнітного поля Землі на волютинові гранули дріжджів дозволяють розкрити механізми, за допомогою яких організми реагують на зміни в навколишньому середовищі. Метою даної роботи було виявлення значень напруженості геомагнітного поля на частотах нижче 1Гц для розрахунків коефіцієнтів кореляції з кількісно оціненими змінами реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів. Для досягнення обраної мети була розроблена програма визначення та порівняння флуктуацій напруженості магнітного поля Землі на частотах 0,1, 0,01 та 0,001 Гц, також були створені масиви даних реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів та одногодинних і добових значень низькочастотних характеристик геомагнітного поля за 2009 р. у м. Києві. Для визначення зв'язків між значеннями наднизькочастотних коливань магнітного поля Землі та значеннями реакції метахромазії в дріжджових клітинах були проведені розрахунки коефіцієнтів кореляції за Спірменом між значеннями реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів та одногодинними і добовими значеннями низькочастотних характеристик геомагнітного поля.

Об’єктом дослідження були розрахунки коефіцієнтів кореляції між низькочастотними флуктуаціями геомагнітного поля та реакцією метахромазії волютинових гранул дріжджів *Saccharomyces cerevisiae;*

Ключові слова: реакція метохромазії, волютинові гранули, наднизькочастотні коливання, коефіцієнт кореляції, геомагнітне поле.

ABSTRACT

Thesis: 65 pages, 14 figures, 3 tables, 41 references

The analysis and determination of the influence of the geomagnetic field and its low-frequency characteristics on living organisms is an actual problem of today. This applies to the characteristics of volutin granules, which are the sites of polyphosphate accumulation within cells. They show a complex interaction with the environment and can respond to various external stimuli, including magnetic field. Therefore, investigating the effects of low-frequency oscillations of the Earth's magnetic field on volutin granules in yeast allows us to uncover the mechanisms with whose help organisms respond to changes in the surrounding environment. The aim of this study was to identify the values of the intensity of the geomagnetic field at frequencies below 1 Hz for calculating correlation coefficients with quantitatively assessed changes in metachromasia reaction of yeast volutin granules. To achieve this goal, a program was developed to determine and compare fluctuations in the intensity of the Earth's magnetic field at frequencies of 0.1, 0.01, and 0.001 Hz. Also, arrays of data for the metachromasia reaction of yeast volutin granules and the hourly and daily values of low-frequency characteristics of the geomagnetic field for the year 2009 in Kyiv were created. To determine the relationships between the values of extremely low-frequency oscillations of the Earth's magnetic field and the reaction values of metachromasia in yeast cells, correlation coefficients were calculated using Spearman's method between the reaction values of yeast volutin granules and the hourly and daily values of low-frequency characteristics of the geomagnetic field.

The research object included calculations of correlation coefficients between low-frequency fluctuations of the geomagnetic field and the metachromasia reaction of yeast volutin granules (Saccharomyces cerevisiae).

Keywords: metochromasia reaction, volutin granules, ultra-low-frequency oscillations, correlation coefficient, geomagnetic field.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ……8
ВСТУП……9
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ……..……..13
1.1 Особливості будови волютинових гранул в клітинах дріжджів……....13
1.2 Загальна характеристика реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*……..…….....15
1.3 Геомагнітне поле та його варіації……..……..16
1.4 Характеристики та показники активності геомагнітного поля……..20
1.5 Впливи низькочастотних флуктацій геомагнітного поля на біологічні об'єкти Землі…….....……..…….23
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА…….……....28
2.1 Матеріали та методи……...…...…..…..28
2.1.1 Методика проведення реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів……..……..……...28
2.1.2 Програма розрахунку та візуалізації наднизькочастотних коливань магнітного поля Землі…….……..…….……....29
2.1.3 Статистичні методи обробки даних. Розрахунок коефіцієнтів кореляції……..……34
2.2 Результати та обговорення…….....…..40
2.2.1 Визначення значень та візуалізація амплітуди коливань магнітного поля Землі на різних частотах……....……...40
2.2.2 Визначення середніх годинних щодобових значень амплітуди коливань магнітного поля Землі….....43
2.2.3 Визначення кореляційних зв'язків між значеннями амплітуди низькочастотних коливань магнітного поля Землі та значеннями реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів……..……47

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ …...50

3.1 Заходи з охорони праці в комп'ютерній лабораторії……...……....50

3.1.1 Забезпечення безпеки під час виконання робіт у лабораторних приміщеннях, призначених для комп'ютерних досліджень та експериментів……..……....50

3.1.2 Освітлення виробничих приміщень …….……...51

3.1.3 Аерозольний середовищний стан в робочій зоні ……...53

3.1.4 Діяльність щодо забезпечення захисту від виробничого шуму та вібрації …….……..…….…54

3.1.5 Безпека електричних систем та заходи щодо її забезпечення…….…56

3.2 Заходи з забезпечення безпеки під час екстремальних обставин.....58

3.2.1 Заходи з попередження пожежі та забезпечення пожежної безпеки…….....……58

ВИСНОВКИ…….…….….....60

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….….....61

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ГМП – геомагнітне поле

ДНК – дезоксірибонуклеїнова кислота

МБ - магнітна буря

МП - магнітне поле

МПЗ - магнітне поле Землі

МТХ – метахромазія

НКМПЗ – наднизькочастотні коливання магнітного поля Землі

ПФ – поліфосфати

ВСТУП

Всі живі організми реагують на зміни параметрів магнітного поля Землі (МПЗ). Реакція на різкі зміни параметрів МПЗ відображається на поведінкових реакціях, функціональних характеристиках і параметрах нормального функціонування всіх живих істот [1]. Останнім часом все більше уваги приділяється дослідженню впливу магнітного поля на мікроорганізми, зокрема на дріжджі. Проте немає однозначної думки про те, які конкретні параметри геомагнітного поля зумовлюють механізми впливу на біологічні об'єкти.

Це стосується і характеристик волютинових гранул, які в клітинах є місцями накопичення поліфосфатів. Вони проявляють складну взаємодію з навколишнім середовищем та можуть відзиватися на різні зовнішні стимули, включаючи магнітне поле [2]. Реакція метахромазії (МТХ) дозволяє виявити поліфосфатний статус волютинових гранул, але вона може змінюватися при різних космофізичних подіях [3]. Явище метахромазії проявляється у зміні кольору при фарбуванні толуїдиновим синім в біологічних тканинах чи окремих клітинах. Ця зміна кольору відбувається завдяки зміні спектральних характеристик поглинання барвника в залежності від його концентрації та середовища. Завданням сучасних досліджень метахромазії волютинових гранул дріжджів є розробка методів обліку та пояснення змін кольору цієї реакції [3, 4].

Попередньо визначено, що динаміка кольорових та структурних змін реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів зберігає високий ступінь подібності з варіаціями геомагнітного поля, особливо під час магнітних збурень та бур [3,4]. Раніше було розроблено програму розрахунків напруженості магнітного поля Землі на різних частотах та запропоновано визначати вплив низьких частот геомагнітного поля на молекулярні та клітинні процеси [5]. Але ця програма не дозволяла проводити детальне порівняння біологічних та геофізичних даних в єдиних

просторово-часових вимірах. Крім того, існують теоретичні припущення, що ступінь впливу флуктуацій МПЗ на біологічні об'єкти залежить від їх інтенсивності, яка є найвищою за низькочастотних значень (<1Гц) геомагнітного поля [4,6,7]. Тому дослідження впливу низькочастотних коливань магнітного поля Землі на волютинові гранули дріжджів дозволяють розкрити механізми, за допомогою яких організми реагують на зміни в навколишньому середовищі. Враховуючи це, *актуальним* є дослідження впливу параметрів МПЗ на реакцію метахромазії волютинових гранул дріжджів з метою визначення можливих механізмів, які пояснюють молекулярну чутливість поліфосфатів до параметрів МПЗ та встановлення особливостей їх функціонування в біотехнологічних процесах.

В роботі, яка виконувалась по завданню відділу промислових мікроорганізмів ІМВ ім. Д.К.Заболотного НАН України, проведено аналіз впливу низькочастотних флуктуацій напруженості геомагнітного поля на кількісно оцінені зміни реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів *Saccharomyces cerevisiae,* шляхом графічних порівнянь та розрахунків коефіцієнтів кореляції. При виконанні роботи було використано найбільш повний масив щоденних значень реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів, проведених в моніторинговому режимі на протязі 2009 р. в Інституті мікробіології та вірусології НАН України [8].

Мета дослідження - виявлення значень напруженості геомагнітного поля на частотах нижче 1Гц для розрахунків коефіцієнтів кореляції з кількісно оціненими змінами реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів.

Завдання дослідження:

1. Вивчити особливості методики проведення моніторингу визначення реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та її кількісних значень.

2. Розробити програму визначення та порівняння флуктуацій напруженості магнітного поля Землі на частотах 0,1, 0,01 та 0,001 Гц.

3. Створити масиви даних реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів та одногодинних і добових значень низькочастотних характеристик геомагнітного поля за 2009 р. у м. Києві.

4. Провести розрахунки коефіцієнтів кореляції за Спірменом між щоденними значеннями реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів та одногодинними і добовими значеннями низькочастотних характеристик геомагнітного поля.

5. Описати правила охорони праці та довкілля при роботі в лабораторії мікробіологічного профілю.

Об'єкт дослідження: сформовані масиви кількісних значень реакції метахромазії волютинових гранул та середніх одногодинних значень інтенсивності геомагнітного поля, об'єднаних в часі та місці моніторингу.

Предмет дослідження: розрахунки коефіцієнтів кореляції між низькочастотними флуктуаціями геомагнітного поля та реакцією метахромазії волютинових гранул дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*.

Методи дослідження: біологічні - реакція МТХ у клітинах дріжджів, фізичні - світлова мікроскопія, математичні - розрахунки коефіцієнту кореляції Спірмена, статистичні методи.

Наукова новизна. Розроблено *новий* підхід до визначення кореляційних зв'язків між низькочастотними флуктуаціями геомагнітного поля та змінами реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів, для чого *вперше* були сформовані масиви кількісних одноразових значень реакції метахромазії, об'єднаних в часі із середніми одногодинними значеннями інтенсивності МПЗ за жовтень місяць 2009 р., що дало змогу порівнювати біологічні та геофізичні дані в єдиному просторі та часі.

За допомогою мови програмування Python *модифіковано* програму розрахунків та візуалізації інтенсивності флуктацій геомагнітного поля на частотах 0,1; 0,01; 0,001Гц, що дало змогу підтвердити теоретичні припущення щодо значного зростання інтенсивності магнітного поля при пониженні частоти і дозволяє

розробити механізм змін молекулярної чутливості поліфосфатів при підвищенні інтенсивності низькочастотних флуктуацій МПЗ.

Практичне значення роботи. Виявлені суттєві впливи різкого збільшення напруженості геомагнітного поля на частоті 0.001 Гц на кольорові та структурні зміни реакції метахромазії у волютинових гранулах дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* можна використати для прогнозу збурень геомагнітного поля, особливо під час магнітних бур та захисту біологічних об'єктів від їх впливу.

Подальші визначення кореляційних зв'язків між низькочастотними флуктуаціями геомагнітного поля та змінами реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів за весь 2009 р. дадуть змогу отримати більш вагомі результати.

Отримані в роботі результати впроваджені в участі в роботі XVII Міжнародної науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Біотехнологія XXI століття" та тезах: Опаленик М.М., Громозова О.М., Грецький І.О., Горго Ю.П. Визначення впливу низькочастотних варіацій геомагнітного поля на реакцію метахромазії волютинових гранул дріжджів. «Біотехнологія XXI століття»: Мат. XVII Міжн. науково-практичної конф., 19 05 2023. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023, с. 257-258.

Експериментальна частина роботи проводилась в у відділі фізіології промислових мікроорганізмів Інституту мікробіології та вірусології ім. Д.К.Заболотного НАН України. Виражаємо подяку співробітникам відділу: зав. лабораторією, докт. біол. наук Громозовій О.М. та канд. біол. наук, ст. наук. співробітнику Грецькому І.О. за цінні поради і допомогу при виконанні роботи.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Особливості будови волютинових гранул в клітинах дріжджів

Клітини дріжджів Saccharomyces cerevisiae містять включення, здатні до прояву метахроматичних реакцій при фарбуванні органічним основним тіазиновим барвником метиленовим синім (рис. 1, А). Ці внутрішньоклітинні структури відомі як метахроматичні гранули. В літературі найчастіше розглядаються такі структури як сферичні або гроноподібні щільні згущення, які в клітині виконують роль фосфорного депо [8]. Сучасні цитохімічні методи дозволяють ідентифікувати наявність гранул у ПФ, вивчати їх форму, розташування в клітині, їх структуру і навіть робити припущення про їх агрегатний стан [7]. Проте, мало вивчено питання про метаболізм поліфосфатів у волютинових гранулах з різним поліфосфатним статусом і залежність цих процесів від геофізичних характеристик [5, 3]. Волютинові гранули дріжджів можуть досягати значних розмірів, що становлять до половини довжини та ширини клітини, тобто 3–4 мкм. Ця величезна розмірність дозволяє легко та з високою точністю вивчати їхню тривимірну структуру за допомогою конфокальної мікроскопії. Хоча дифракційна межа роздільної здатності оптичного мікроскопа не дозволяє детально досліджувати поверхню гранул, це не має впливу на загальну характеристику отриманих зображень, які передають їхню геометрію та просторове розташування.

У проведених дослідженнях не було виявлено взаємодії волютинових гранул з ліпохромними барвниками, зокрема суданом III і IV, які використовуються для ідентифікації ліпідних включень. Гранули також не фарбувалися розчинами йодистого калію, які використовуються для виявлення внутрішньоклітинного глікогену. Проте гранули активно взаємодіяли з люмінофорами, такими як акридиновий помаранчевий (AT) і DAPI. При взаємодії з першим барвником, структури набували червоного кольору, а другий барвник надавав їм насичений

жовтий колір (див. рис. 1, Б, У). Червона флуоресценція гранул, зумовлена реакцією з АТ, може свідчити про наявність молекул нуклеїнових кислот або просто негативно заряджених лінійних молекул у спостережуваних гранулах. Жовте стійке до ультрафіолетового опромінення фарбування гранул у присутності DAPI свідчить про присутність поліфосфатів. Прижиттєве фарбування незафіксованих зразків показало, що багато метахроматичних гранул усередині вакуолей знаходяться у вільному стані, не прикріплені та не зафіксовані на внутрішній поверхні дріжджових вакуолей, а постійно перебувають у русі. Цей явище легко спостерігати як за допомогою фазовоконтрастного, так і при люмінесцентному мікроскопуванні об'єктів. Завдяки своїй рухливості гранули отримали назву "танцюючих тілець" (dancing bodies) [9].

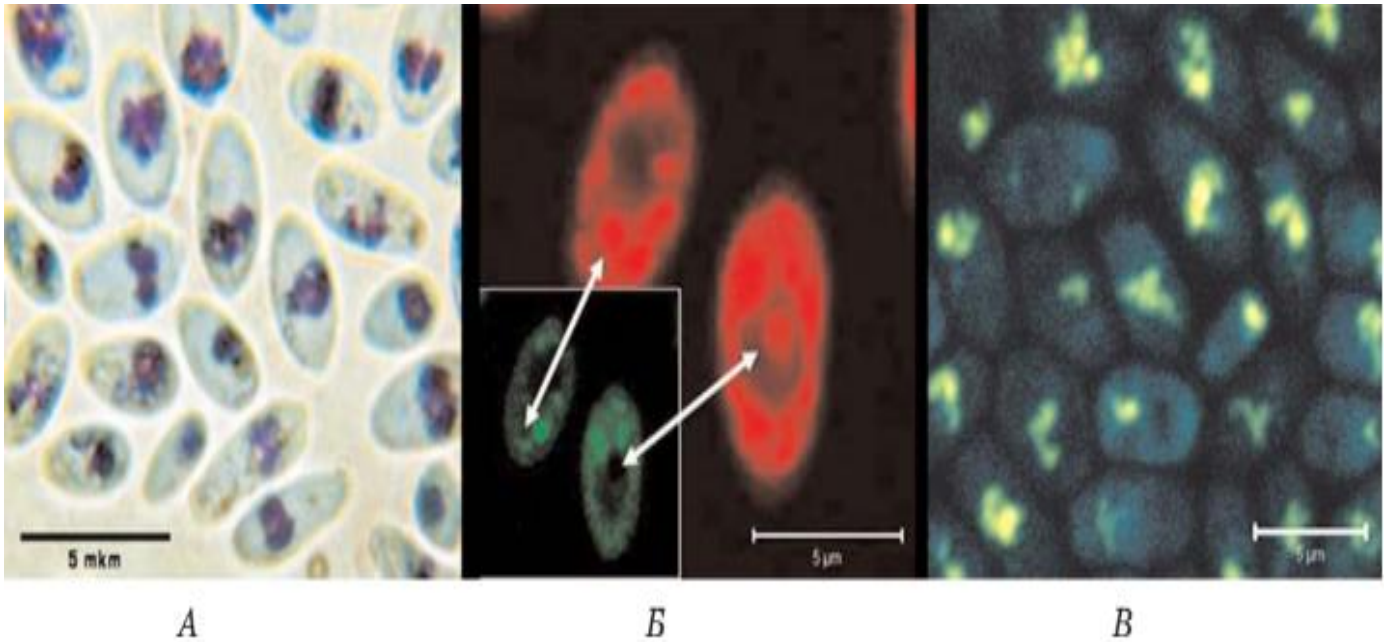


Рис. 1.1 Клітини дріжджів Saccharomyces cerevisiae пофарбовані метиленовим синім (А); акридиновим помаранчевим (окремо показана флуоресценція у зеленій (505–530 нм) та у червоній (560–615 нм) зонах видимого спектру) (Б); пофарбовані DAPI (В). Зображення А отримано при світлопольному мікроскопуванні, зображення Б і В методом лазерної конфокальної мікроскопії. Шкала відповідає 5 мкм [9].

1.2 Загальна характеристики реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів *Saccharomyces cerevisiae.*

Метахроматичне забарвлення волютинових гранул є характерним явищем як для прокаріотичних, так і для еукаріотичних мікроорганізмів. Ця реакція базується на агрегації молекул барвників, таких як толуїдиновий синій або метиленовий синій, при взаємодії з неорганічними поліфосфатами, що є основними компонентами волютинових гранул [9].

Під час фарбування толуїдиновим синім розрізняють α-метахромазію, β-метахромазію та γ-метахромазію. Ці терміни використовують для розмежування неметахроматичного фарбування (α-метахромазія), сильно позитивного червоного фарбування (γ-метахромазія) та слабко-фіолетового фарбування, тобто проміжного між синім та червоним (β-метахромазія). Вважається, що вони дають вказівку на те, чи є фарбування у вигляді мономеру барвника – α-метахромазія, короткого полімерного барвника з двох-трьох або більше компонентів – β-метахромазія або більшого за структурою полімерного барвника – γ-метахромазія. Цей розподіл слід вважати лише орієнтовним, а не абсолютним [12].

Варто зауважити, що питання про причини, що призводять до метахромазії, залишається відкритим. Зміна забарвлення, яка відрізняється від кольору барвника, може періодично спостерігатись за стандартних умов культивування мікроорганізмів. Вплив факторів космічної погоди, як одного з можливих чинників, вперше було показано С.Т. Вельховером та А.Л. Чижевським і зафіксовано як біоастрономічний ефект Чижевського-Вельховера [10, 11]. Цей феномен може відігравати ключову роль у поясненні впливу космофізичних факторів на біологічні системи.

Волютинові гранули містять лінійні неорганічні поліфосфати, довжина яких визначає метахроматичне забарвлення. Ці полімерні молекули присутні у всіх етапах біологічної еволюції, від архей до людини, і виконують різноманітні регуляторні

функції. Зміна довжини поліфосфатних ланцюгів під впливом космофізичних факторів може призводити до ефектів, спостережуваних в біологічних об'єктах різного рівня організації. Один з методів, який дозволяє визначити основний фактор серед можливих полевих впливів, полягає у застосуванні матеріалів з відомими властивостями для екранування об'єкта [11].

1.3 Геомагнітне поле та його варіації.

Геомагнітне поле - це магнітне поле Землі, яке оточує планету і походить від руху рідинного заліза в зовнішньому ядрі Землі. Геомагнітне поле складається з двох різних природних компонентів. Перша компонента, відома як статична компонента, характеризується повільними змінами і в основному залишається незмінною. Ця компонента виникає внаслідок джерел, розташованих у внутрішній частині Землі. Друга компонента, відома як змінна компонента, генерується електричними струмами, що протікають у іоносфері та магнітосфері. Вона підлягає постійним змінам через взаємодію з сонячним вітром та іншими зовнішніми факторами. Ці дві компоненти утворюють складну структуру геомагнітного поля Землі [10, 32].

Всі електромагнітні поля (ЕМП), які присутні в біосфері Землі, можна умовно класифікувати на три групи в залежності від природи їх походження. Ці групи включають ЕМП геофізичної природи, ЕМП антропогенного походження та електромагнітні випромінювання (ЕМВ) біологічної природи.

Геофізичні поля (ГП) визначаються як фізичні поля, які виникають або змінюються внаслідок впливу природного середовища планети. Розподіл і зміна цих полів в просторі і часі залежать від наявності та інтенсивності їх джерел, а також від характеристик природного середовища і його динаміки, що піддається впливу як природних, так і техногенних факторів [6, 34].

Магнітне або геомагнітне поле Землі представляє собою силове геофізичне поле, яке виникає в результаті електромагнітних процесів у ядрі нашої планети та магнітних властивостей гірських порід земної кори. Електромагнітне поле Землі є природним та змінним полем, яке збуджується шляхом варіацій магнітного поля Землі.

Геомагнітне поле Землі є природним джерелом електромагнітного поля геофізичної природи, і воно складається з двох компонентів: постійного полу (99%) і змінного поля (1%) [27]. Постійне магнітне поле Землі формується через процеси, які відбуваються у рідкому металевому ядрі планети. Змінне геомагнітне поле генерується струмами, що протікають у магнітосфері та іоносфері. Великі збурення у магнітосфері, відомі як магнітні бурі, значно збільшують амплітуду змінної компоненти геомагнітного поля. Крім того, радіохвилі, що випромінюються космічними джерелами, також є природним джерелом електромагнітного поля [6, 27].

У передачі енергії від Сонця до Землі існують два головних канали - електромагнітне і корпускулярне випромінювання. Зокрема, електромагнітне випромінювання вважається пріоритетним, оскільки через нього досягає Землі основна частина сонячної енергії [28]. Цей потік енергії переважно знаходиться у видимому і інфрачервоному діапазонах довжин хвиль і характеризується сталістю.

Згідно сучасних концепцій, існують два основних сценарії передачі енергії від Сонця до магнітосфери. Перший сценарій включає сонячне збурення, що виникає в результаті сонячного спалаху та викиду корональної маси. Цей збурений процес спричиняє формування міжпланетної магнітної хмари, яка містить південну компоненту поля ($Bz<0$). При наближенні до Землі, цей збурений тип сонячного вітру спричиняє виникнення магнітної бурі [6].

Згідно другого сценарію, корональні діри спричиняють формування швидких потоків сонячного вітру. При русі в міжпланетному магнітному полі, ці швидкі

потоки взаємодіють з повільними потоками. Ця взаємодія призводить до утворення зони стиснення та деформації міжпланетної магнітної плазми, яка містить південну компоненту (Bz<0) магнітного поля. В результаті, до Землі знову наближається збурений тип сонячного вітру, що спричиняє виникнення магнітних бур.

Розподіл геомагнітного поля в просторі зазвичай описується трьома магнітними елементами: горизонтальною складовою, нахилом (I) - кутом між напрямком вектора поля і горизонтальною площиною, а також схиленням (D) - кутом між напрямками на геомагнітний та географічний полюс [27].

Розподіл геомагнітного поля в південній та північній півкулях неоднаковий, існують області з підвищеними або зниженими значеннями магнітних елементів, відомі як магнітні аномалії. Магнітні аномалії варіюють за розмірами, інтенсивністю та конфігурацією. Найбільші аномалії мають розміри, що приближаються до материків, тоді як найменші є локальними або регіональними, їх розміри становлять від одиниць до сотень кілометрів. Регіональні та локальні аномалії виникають внаслідок нерівномірного намагнічення гірських порід земної кори, які мають феромагнітні властивості (1% від загального геомагнітного поля) [10, 31].

Основна компонента геомагнітного поля, відома як головне поле, виникає внаслідок електричних струмів, що протікають у зовнішній рідкій частині земного ядра. Головне магнітне поле Землі підлягає змінам як за своєю інтенсивністю, так і за конфігурацією протягом часу. Зміни геомагнітного поля, відомі як варіації віку, охоплюють коливання з різними часовими інтервалами, від кількох десятків років до десятків тисяч років. Більш того, ці варіації не тільки характеризуються змінами магнітної сили, але також залежать від конфігураційних змін у геомагнітному полі Землі [5].

Табл.1.1 Варіації геомагнітного поля на планеті Земля [11]

Тип варіації	Період коливань	Амплітуда А, нТл
Повільні варіації		
Вікові	Десятки і сотні років	10-150
циклічні	11 років	1-20
Періодичні (спокійні) варіації		
Щорічні	1 рік	5-30
Місячно добові	24 год 50 хв	1-7
Сонячно добові	24 год	10-70
Збурені варіації		
Аперіодичні	10-200 год	10-400
Сонячні добові	24 год	10-400
Суббуря	0,5-3 год	30-1000
іррегулярні	5-60 хв	10-3000
Короткоперіодичні варіації		
Стійкі	10-45с	0,4-20
Іррегулярні	40-150с	1-20

Магнітні коливання, що мають зовнішнє походження, можуть бути класифіковані на основі їх спектральних, енергетичних та інших характеристик. Вони складаються з кількох типів полів, і їх умовно можна розділити на такі групи: повільні циклічні коливання, періодичні коливання, збурені коливання та короткоперіодичні коливання [11].

Сонце випромінює потік енергії, який називається сонячним вітром. При зустрічі цього сонячного вітру з Землею, яка оточена геомагнітним полем (ГМП), утворюється порожнина, відома як магнітосфера. ГМП функціонує як бар'єр, який не дозволяє сонячному вітру виходити за межі магнітосфери, але деяка частина сонячного вітру все ж проникає всередину магнітосфери [23, 5].

Під час сонячних збурень, коли потік частинок сонячного вітру має збільшену енергію та густину, він проникає в нейтральний шар за допомогою віддаленої зони хвоста. Це призводить до генерації електричних полів, підвищення конвективних

рухів у магнітосфері, потрапляння частинок в високі широти, виникнення полярних сяйв і різкого зростання сили електричних токів, що викликають магнітні бурі.

Якщо підсилення сонячного вітру є непостійним і менш інтенсивним, то в магнітосферу потрапляє лише один імпульс, який відображається в геомагнітному полі як одноразове збурення, відоме як суббуря. У випадку великих сонячних збурень відбувається тривала інтенсифікація сонячного вітру, і в магнітосферу послідовно потрапляють декілька імпульсів, що призводить до накладання суббурь один на одного. Цю послідовність суббурь можна назвати складною магнітною бурею [10].

1.4 Характеристики та показники активності геомагнітного поля

Зміни магнітного поля є однією з найсуттєвіших складових космічної погоди. Вони мають вплив на багато сфер людської діяльності, включаючи порушення зв'язку, систем навігації космічних суден, виникнення вихрових індукційних струмів у трансформаторах та трубопроводах, а також навіть руйнування енергетичних систем. Крім того, геомагнітна активність впливає на живі організми, і цей вплив може проявлятись у збільшенні або зменшенні інтенсивності синтезу поживних речовин та інших процесів [8, 27, 30].

Основними проявами активності геомагнітного поля є виникнення сильних збурень - магнітних бурь і суббурь, а також слабких збурень у формі магнітних пульсацій. Стан магнітосфери характеризується за допомогою різних індексів, які обчислюються на основі змін магнітного поля на земній поверхні.

Існує умовна класифікація індексів геомагнітної активності, яку можна поділити на три групи:

- індекси локальної геомагнітної активності, такі як C, K, aK, rH, Q;
- індекси планетарної геомагнітної активності, які включають Ci, Cp, Kp, Km, Ks, Kn, ap, Ap, am, Am, aa, Aa;

- індекси активності окремих джерел магнітного поля, такі як Dst, AE, PC.

Для оцінки магнітної активності всієї Землі був введений планетарний Сі-індекс, який вказує на збурення протягом одного дня [8, 34]. Його значення визначається як середнє арифметичне С-індексів, отриманих з приблизно 30 магнітних обсерваторій.

У визначенні індексу геомагнітної активності встановлені такі вимоги, як чіткий фізичний зміст, що визначає його сутність, наочність і простота використання для зручного сприйняття інформації, детальний опис геомагнітної активності, враховуючи амплітуду змін, докладний опис геомагнітної активності у залежності від часу, оперативність отримання даних для швидкого аналізу, наявність тривалих часових рядів для дослідження довготривалих змін [27, 29].

На сьогоднішній день не існує індексів, які б в повній мірі задовольняли всім вимогам однаково. Проте, найбільш універсальними, наочними і широко використовуваними є K-індекси геомагнітної активності, які були введені у практику магнітних обсерваторських спостережень у 1939 році.

K-індекс відображає геомагнітну активність, зареєстровану на певній обсерваторії протягом 3-годинних інтервалів часу, починаючи з 00:00 години UTC. Значення K-індексу виражається у балах і може приймати значення від 0 до 9. Значення K = 9 вказує на геомагнітне збурення, яке перевищує амплітуду 2500 нТл у зоні полярних сяйв і 300 нТл у низьких широтах [32, 27]. Для кожної конкретної обсерваторії значення амплітуди збурення, що відповідає K = 9, було визначено на основі аналізу геомагнітного збурення, зафіксованого 16 квітня 1938 року від 6:00 до 9:00 години UTC, коли для всіх обсерваторій K-індекс прийняли рівним 9 балам. Максимальне значення амплітуди геомагнітного збурення в цьому інтервалі було використано як нижня межа амплітуди для K = 9. Для обсерваторій, заснованих після 1938 року, нижню межу амплітуди для K = 9 встановлюють після консультацій

з робочою групою Міжнародної асоціації геомагнетизму і аерономії (IAGA) з питань індексів геомагнітної активності [31, 35].

Планетарний індекс Kp використовується для оцінки збуреності протягом трьохгодинного інтервалу. Для розрахунку значення Kp-індексу використовуються дані з 12 обсерваторій, розташованих між 63° і 48° північної та південної геомагнітних широт. Ks-індекс є стандартизованим K-індексом і відображає планетарну збуреність в південній півкулі, тоді як Kn-індекс характеризує планетарну збуреність в північній півкулі. Індекс Km, зі свого боку, відображає середню планетарну збуреність [8].

Індекси ap і Ap є планетарними індексами геомагнітної активності, які розраховуються за лінійною шкалою.

Індекс ak представляє еквівалентну амплітуду збурень в трьохгодинному інтервалі для конкретної обсерваторії.

Індекс AK, з свого боку, відображає еквівалентну добову амплітуду збурень для цієї обсерваторії і обчислюється як середнє значення з восьми значень індексу ak.

Індекс Cp був введений з метою стандартизації індексу Ci.

Введення індексів Aa і Aa-індексів мало на меті отримати однорідний ряд планетарної збуреності для максимально можливого інтервалу часу.

Індекс Q в свою чергу відображає інтенсивність іоносферних струмових систем.

Індекс C9 є похідним від індексу Cp і використовується для характеристики добової планетарної збуреності геомагнітного поля.

Індекс rH визначається як абсолютний максимальний розмах горизонтальної компоненти магнітного поля H, виражений у десятках гамм [28].

Dst індекс представляє середнє значення збурення в годинному інтервалі, яке розраховується на основі даних низькоширотних станцій, розташованих в різних довготних точках.

PC індекс розраховується на основі геомагнітних даних з однієї станції, розташованої неподалік полярного круга, і оцінює геомагнітну активність в цьому районі.

AU, AL, AE, AO-індекси геомагнітної активності, запропоновані в 1966 році, є кількісними показниками магнітної активності в авроральній зоні. Вони відображають збільшення струмів, що протікають в іоносфері вздовж кордону аврорального овалу, включаючи східні і західні струми полярного електроджета [8].

1.5 Впливи низькочастотних флуктацій геомагнітного поля на біологічні об'єкти

Відсутність загальної теорії та фізичних концепцій у магнітобіології, а також практично відсутність прогностичних теоретичних моделей, пов'язана з проблемою, що полягає в парадоксальності біологічного впливу слабких низькочастотних магнітних полів, які мають значно меншу енергію, ніж енергія, характерна для біохімічних процесів [14]. Сьогодні низькочастотна магнітобіологія, яка є галуззю біофізики, що вивчає вплив слабких магнітних та електричних полів з частотами від частинок до сотень герц, також зіткнулася з аналогічними труднощами [15]. З посиленням усвідомлення цього факту, важливість вивчення механізмів біологічного впливу електромагнітних полів, або механізмів магніторецепції, зростає. Під магніторецепцією розуміється здатність живих систем реагувати на зміни магнітних полів на рівні геомагнітного поля [32].

У природі не існує спеціалізованих біологічних магніторецепторів, крім частинок біомагнетіту, які знаходяться в деяких бактеріях. Тому важливо з'ясувати, як саме сигнали магнітного поля перетворюються на відповідь біологічної системи [16]. У низькочастотному діапазоні магнітне поле майже безперешкодно проникає в живу тканину [17]. Воно впливає на всі частинки тканини, але не всі з них беруть участь у передачі інформації про магнітне поле на біологічному рівні. Первинні

процеси взаємодії магнітного поля з частинками матерії, такими як електрони, атоми і молекули, є фізичними процесами, які мають значення для біологічних об'єктів [17, 32].

Заряджені частинки, такі як іони, присутні в живій речовині, а також магнітні моменти атомів і молекул, виступають посередниками у передачі сигналів магнітного поля на біохімічний рівень. Регуляція активності білків, яка здійснюється біофізичними механізмами за участю магніточутливих інтермедіатів, призводить до змін в процесах метаболізму. Це впливає на концентрацію продуктів метаболізму [18].

Електромагнітні поля низької інтенсивності, які не викликають нагрівання тканин організму, можуть мати помітні і не завжди безпечні біологічні ефекти [35]. Цей факт був встановлений численними лабораторними і епідеміологічними дослідженнями, але фізична природа цього явища досі не повністю з'ясована. Існують експериментальні дані в галузі магнітобіології, які містять фізичну інформацію. Були розглянуті наявні теоретичні моделі цих явищ, але були відхилені можливі механізми магніторецепції, які пояснюють значну частину експериментальних даних. Була досліджена природа специфічно зниженої відтворюваності магнітобіологічних явищ, і показано, що таке не відтворення може мати принциповий характер [17]. Запропоновано загальну теоретичну основу для пояснення біологічних ефектів магнітних полів [1]. Ця основа ґрунтується на інтерференції квантових станів іонів і молекул і успішно поєднується з експериментальними даними, розв'язуючи парадокси, пов'язані з нетепловим впливом електромагнітних полів. У суті, ця теорія встановлює основні принципи взаємодії електромагнітних полів з біологічними системами. Теорія, розроблена В. Н. Бінгі, залишає простір для подальших теоретичних та експериментальних досліджень [17,21].

Особливу увагу серед параметрів магнітного поля Землі привертають наднизькочастотні компоненти (НКМПЗ) з частотами менше 1 Гц. Цей інтерес ~базується на теоретично визначеній і документованій в літературі залежності інтенсивності природних значень магнітного поля Землі від його частоти (рис.1.2.) [19, 21, 22, 4].

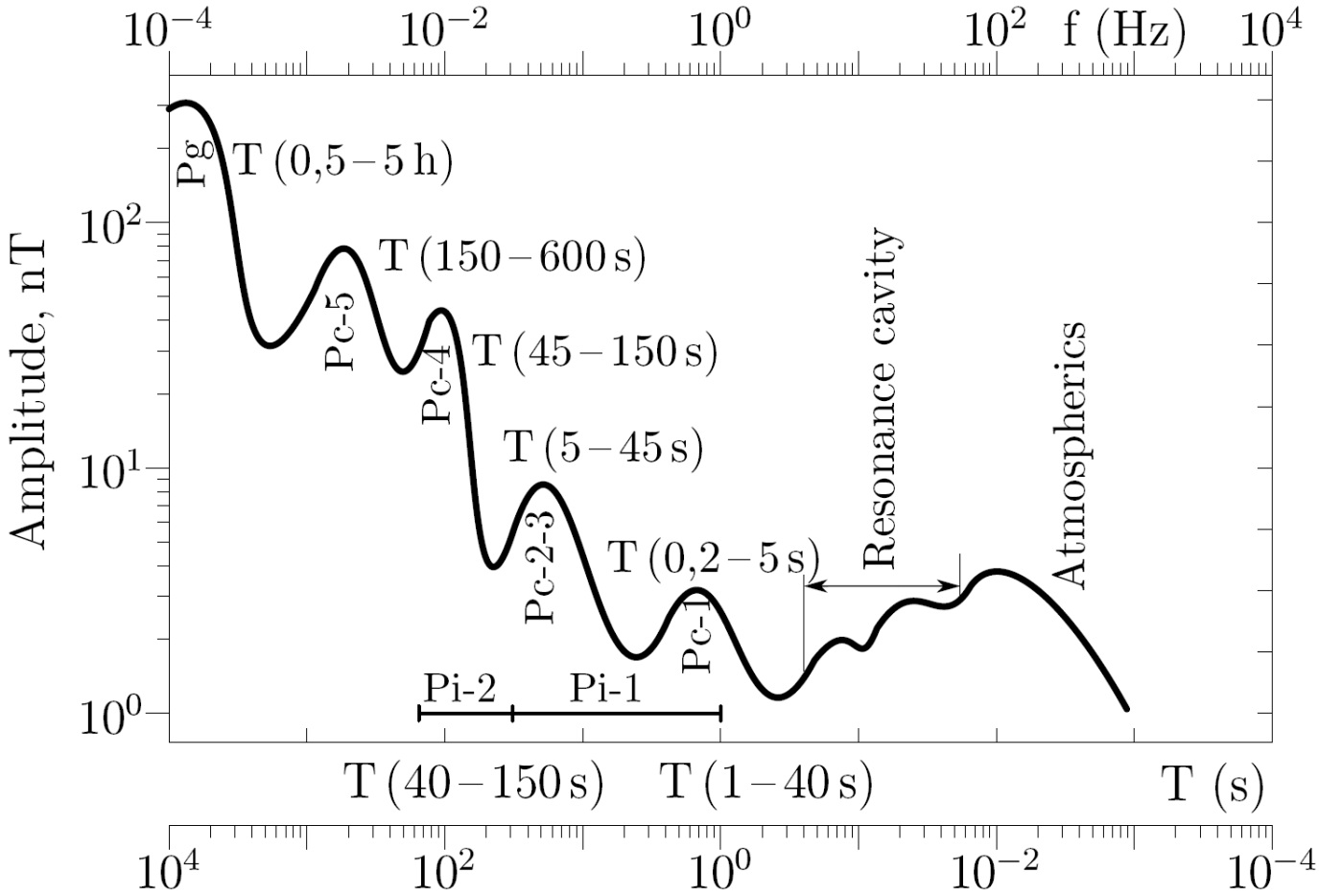


Рис. 1.2 Спектральна схема змін ГМП в діапазоні частот $\langle 10^{-4}, 10^{4}$ Hz$\rangle$ (шкали логарифмічні). Індивідуальні максимуми амплітуди (nT) (вертикальна вісь) вказуються з відповідними періодами індивідуальних коливань. Горизонтальна вісь періодів додана внизу, а виазначених частоти вгорі. Біля піків Ps і Pi вказані значення періодів T (c) [21,26].

Якщо розглядати розподіл енергії як функцію варіацій частоти ГМП, то залежність амплітуд від частоти широко відомих регулярних (відомих як Pc-1÷ Pc -5) і нерегулярних варіацій (відомих як Pi -1 та Pi –2) у ГМП є значною. Як показано на рис. 1.2 тренд максимумів амплітуд виявляє тенденцію збільшення амплітуд, як функції зменшення частот для інтервалу частот f < 1 Гц. Крім того, амплітуди монотонно зростають (рис.1.2) в діапазоні значень на 4 порядки, а саме від 0,05 нТл при f =1 Гц до ~500 нТл при f = 0,001 Гц [21,22].

Серед факторів, що впливають на біологічні об'єкти, вказують на більш ймовірну комбіновану дію різних низькочастотних геофізичних факторів на біосистеми [21, 22]. Загалом вважають, що реакції біологічних об'єктів на електромагнітні коливання принципово відрізняються від реакцій на механічні коливання тих же частот. Аперіодичний вплив магнітного поля Землі може передаватися до різних осциляторних структур і спричиняти резонансне розгойдування коливань у відповідних осциляторах, якщо дія збігається з біологічно ефективними частотами. Зміна звичної частотної обстановки зовнішніх факторів, виникнення або зникнення характерних для біооб'єктів частот, може спричиняти десинхронізацію та дисфункцію молекул та тканин. Більше того, тривалість процесів адаптації може залежати від того, наскільки значна перебудова частоти відбувається в організмі. Варто зазначити, що реакція біооб'єктів на магнітні бурі не відбувається на самі скачки геомагнітного поля, пов'язані з бурею, а на появу або зникнення резонансних частот, які безпосередньо виникають перед початком магнітної бурі або під час її розвитку [20, 32].

Існування біологічно ефективних частот при впливі зовнішніх факторів пояснюється за допомогою явищ вимушеного резонансу в мікроструктурах, таких як мембрани, молекули, іони крові, ДНК, у гігагерцовому діапазоні частот, а також параметричного резонансу в клітинах, органах, венах, артеріях, капілярах та мозку в діапазоні низьких частот (від 0.01 до 40 Гц) [21]. Згідно з теорією параметричного

резонансу, коливання магнітного поля зі змінними періодами від 2 до 240 хвилин можуть бути в резонансі з біологічними структурами, які володіють власними періодами від 1.3 до 480 хвилин. Такі періоди є характерними для ритмів електричних потенціалів головного мозку людини (5, 10, 22, 45 хвилин), синтезу білків (20-150 хвилин) як у клітинах ссавців in vivo, так і під час висівання клітинних культур [23, 4]. Крім того, вони спостерігаються під час ритмічного викиду гормонів надниркових залоз у людини та тварин, який має як часовий період, так і періоди, що є гармоніками добового ритму - 480, 360, 240 і 180 хвилин. Існує також ритм сну, контрольований гіпоталамусом, з періодичністю близько двох годин, а також ритми тривалістю 17 і 48 хвилин. Отже, наднизькочастотні коливання магнітного поля з відповідними значеннями можуть викликати резонансні явища в мозку та ендокринній системі, що може впливати на їх функціонування та біологічні процеси. [21].

Існує можливість впливу наднизькочастотних компонентів магнітного поля (НКМПЗ) на електричні та магнітні параметри функціонуючих органів у тварин, або на магнітну сприйнятливість тканин, або на індивідуальне магнітне поле тварин або рослин [4, 29]. Крім того, було виявлено, що НКМПЗ можуть впливати на каталітичні властивості ферментів, що може змінювати їх електричне напруження і призводити до змін швидкості каталізу ферментативних реакцій. Ці відкриття свідчать про можливу взаємодію між НКМПЗ і біологічними системами, що відкриває нові перспективи дослідження в області впливу магнітних полів на живі організми. [23].

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Матеріали та методи

2.1.1 Методика проведення реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів

Для проведення дослідження було використано дріжджі Saccharomyces cerevisiae штам Y-517, що належить до Української колекції мікроорганізмів. Дріжджі були культивовані на протязі 24 годин на середовищі сусло-агар у скляних пробірках, які закривалися ватно-марлевими пробками, а також у пластикових чашках Петрі (Sterilin Ltd., UK). Клітини були вирощені в суховоздушному термостаті ТС-80М при температурі 28°С протягом доби. Паралельно з пересіванням клітин на свіже живильне середовище, було зроблено мазок на предметному склі за методом живої краплі. Частина клітин була ресуспендована в краплі дистильованої води безпосередньо на поверхні скла, утворюючи моношар. Після висихання мазку, клітини були фіксовані жаром і забарвлені метиленовим синім за методом Льоффлера [23]. Оцінку забарвлення волютинових гранул проводили при мікроскопії зразків в світловому полі за допомогою об'єктива зі збільшенням ×100 / 1.30. Ступінь метахромазії клітин оцінювали за наступною системою кодування: «1» - відсутність метахроматичної реакції (волютинові гранули забарвлюються у синьо-блакитний колір), «2» - переважає насичений фіолетовий відтінок у забарвленні волютинових гранул, «3» - переважає пурпурний (фіолетово-червоний) відтінок у забарвленні волютинових гранул (рис. 1.2). Оцінка забарвлення проводилась щоденно о 12 годині за Київським часом у період з 2009 по 2014 роки. Всього було зроблено 1795 вимірювань. Схема експерименту наведена на рис. 2.1.

Інтенсивність ростових процесів визначали за зростанням біомаси. Для цього клітини, що були вирощені на твердому середовищі сусло-агар, змивали зазначеною кількістю дистильованої води, а оптичну плотність отриманої суспензії вимірювали з

використанням фотоелектрокалориметра КФК-2-УХЛ-4.2 при довжині хвилі 540 нм у кюветі з оптичним шляхом 3 мм. Експеримент проводили не менше ніж з трьома повтореннями.

Рис. 2.1 Схема досліду, спрямованого на вивчення реакції метахромазії волютинових гранул в клітинах дріжджів Saccharomyces cerevisiae.

2.1.2 Програма розрахунку та візуалізації наднизькочастотних коливань магнітного поля Землі

Були отримані експериментальні значення МПЗ на території міста Київ (де проводилася реакція метахромазії волютинових гранул дріжджів) з частотою дискретизації 1 Гц, що робить можливим визначення наднизькочастотних значень із масиву даних. Ці дані були отримані за допомогою сервісу INTERMAGNET. Для отримання даних переходимо за посиланням: https://www.intermagnet.org/data-donnee/download-eng.php#view, знаходимо розділ “Data”, потім “CD-ROM/DVD (definitive data)”, вибираємо дату початку і кінця періоду (можна цілий рік),

ибираємо регіон (Європа для KIV) і натискаємо “Search for data”, у списку вибираємо KIV, відмічаємо всі фай. Далі внизу сторінки вводимо електронну адресу, приймаємо умови та натискаємо “download data”. На наступній сторінці завантажуємо zip file. Файл завантажується залежно від налаштувань браузера у папку за замовчуванням (download), або за запитом, куди вкажете. Після

Файл Правка Вид Кодировка Справка 3%

```
 Format                IAGA-2002                                    |
 Source of Data        National Academy of Sciences of Ukraine(NASU)|
 Station Name          Kiev                                         |
 IAGA CODE             KIV                                          |
 Geodetic Latitude     50.700                                       |
 Geodetic Longitude    30.300                                       |
 Elevation             140                                          |
 Reported              XYZG                                         |
 Sensor Orientation    XYZF                                         |
 Digital Sampling      1.0 seconds                                  |
 Data Interval Type    Average 1-Minute (00:30-01:29)               |
 Data Type             Definitive                                   |
 # D-conversion factor 10000                                        |
 # K9-limit            500                                          |
 # Format binary data.                                               |
 # A complete set is available on the INTERMAGNET CD-ROM/DVD.       |
 # Go to www.intermagnet.org for details on obtaining this product.  |
 # CONDITIONS OF USE: The Conditions of Use for data provided       |
 # through INTERMAGNET and acknowledgement templates can be found    |
 # at www.intermagnet.org                                            |
 # D conversion factor is a fixed value used to allow               |
 # Declination to be converted from minutes of arc to equivalent    |
 # nanoteslas. Set to H/3438*10000 where H is the annual mean       |
 # value of horizontal intensity.                                    |
DATE       TIME         DOY    KIVX     KIVY     KIVZ     KIVG   |
2009-01-01 00:00:00.000 001    19232.00  2303.80  46417.80  99999.00
2009-01-01 00:01:00.000 001    19231.90  2304.00  46417.70  99999.00
2009-01-01 00:02:00.000 001    19232.00  2304.10  46417.70  99999.00
2009-01-01 00:03:00.000 001    19232.10  2304.20  46417.60  99999.00
2009-01-01 00:04:00.000 001    19232.00  2304.10  46417.60  99999.00
2009-01-01 00:05:00.000 001    19232.10  2304.20  46417.50  99999.00
2009-01-01 00:06:00.000 001    19232.30  2304.20  46417.50  99999.00
2009-01-01 00:07:00.000 001    19232.70  2304.10  46417.60  99999.00
2009-01-01 00:08:00.000 001    19233.20  2304.00  46417.60  99999.00
2009-01-01 00:09:00.000 001    19233.60  2303.90  46417.60  99999.00
2009-01-01 00:10:00.000 001    19233.90  2303.90  46417.60  99999.00
2009-01-01 00:11:00.000 001    19234.20  2304.00  46417.50  99999.00
2009-01-01 00:12:00.000 001    19234.30  2303.80  46417.60  99999.00
2009-01-01 00:13:00.000 001    19234.30  2303.80  46417.60  99999.00
2009-01-01 00:14:00.000 001    19234.30  2303.50  46417.70  99999.00
2009-01-01 00:15:00.000 001    19234.20  2303.30  46417.70  99999.00
2009-01-01 00:16:00.000 001    19234.20  2303.10  46417.80  99999.00
2009-01-01 00:17:00.000 001    19234.00  2303.10  46417.70  99999.00
2009-01-01 00:18:00.000 001    19234.00  2303.10  46417.70  99999.00
2009-01-01 00:19:00.000 001    19233.90  2302.90  46417.70  99999.00
2009-01-01 00:20:00.000 001    19233.80  2302.80  46417.70  99999.00
2009-01-01 00:21:00.000 001    19233.60  2302.50  46417.80  99999.00
2009-01-01 00:22:00.000 001    19233.20  2302.50  46417.80  99999.00
2009-01-01 00:23:00.000 001    19233.00  2302.60  46417.70  99999.00
```

розархівування маємо текстовий файл, що виглядає так:

Рис. 2.2 Приклад текстового файлу з експериментальними значеннями МПЗ

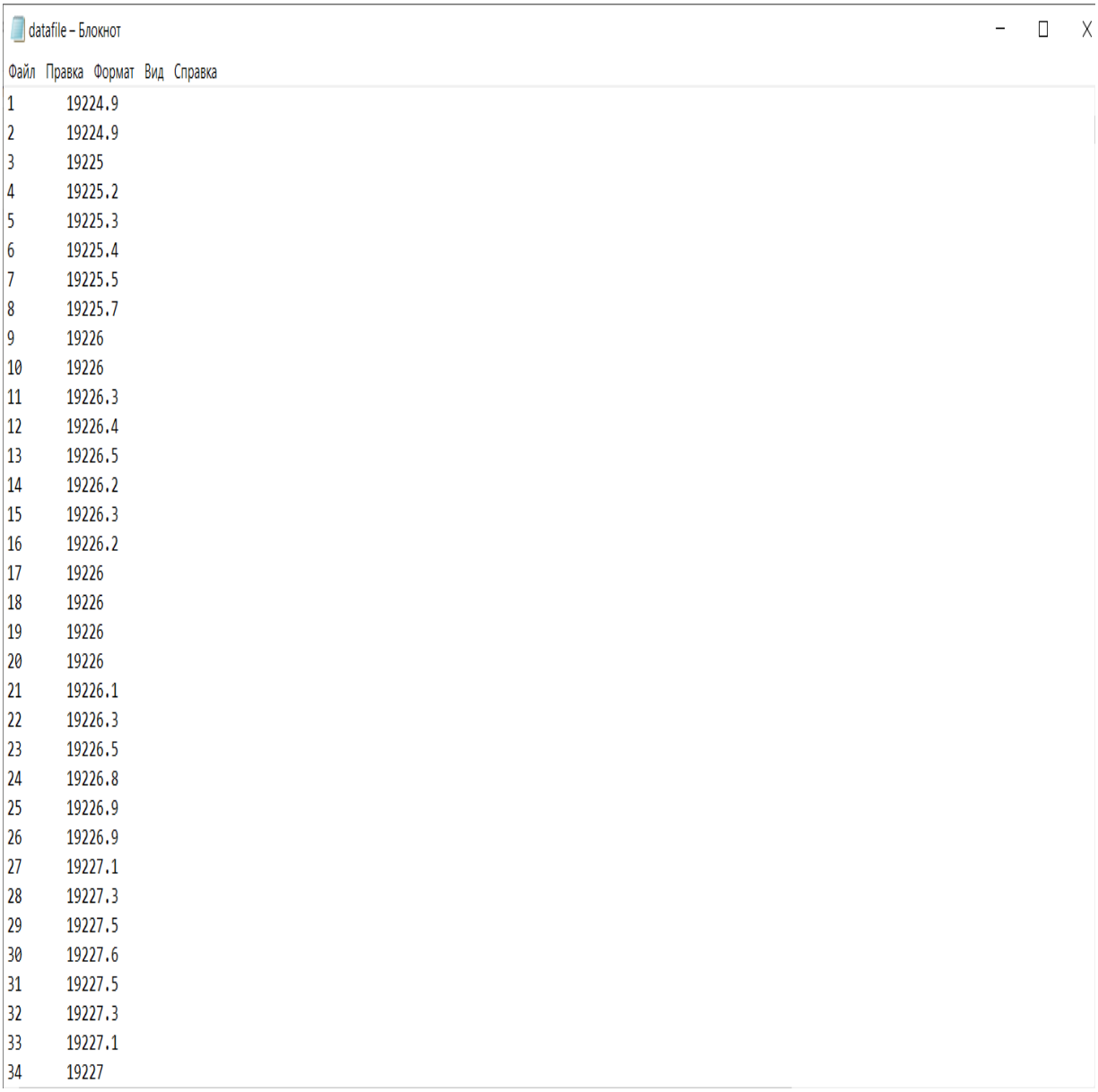
Дані були отримані за жовтень місяць 2009 року, коли було проведено найбільша кількість реакцій метахромазії. З цих даних для подальших розрахунків і обробки був обраний X компонент магнітного поля (KIVX).

Для подальших розрахунків НКМПЗ нами була розроблена програма. Програма розроблена для розрахунку та візуалізації наднизькочастотних флуктацій магнітного поля Землі. Програма була реалізована на мові програмування Python з використанням пакету MagPy, який є у вільному доступі. Для запуску програми використовується графічна оболонка ConEmu, але можна використати іншу графічну оболонку, таку як bash, cmd, powershell. Для перегляду та редагування коду програми використовується “Sublime Text”, але можна використовувати інше середовище для розробки на мові Python, наприклад, PyCharm, або Python IDLE.

Для роботи програми необхідно встановити Python версії 3.7+. Додатково потрібно встановити пакет “MagPy”, який має у своїх залежностях модулі “fft” та “irfft”. Ці методи представляють можливість для маніпулювання дискретизованими сигналами, зокрема їх моделювання, фільтрації та здійснення Фур'є-перетворення. Також для правильної роботи програми рекомендується встановити пакети “numpy”, “matplotlib”, “magpylib” та “pandas”. Всі пакети можна встановити з офіційних репозиторіїв за допомогою команди pip install (назва пакету). Після загрузки всіх пакетів та залежностей вони автоматично інтегруються до оболонки ConEmu. Після встановлення програми потрібно через графічну оболонку встановити робочу директорію в якій знаходиться програма, здійснити це можна за допомогою функції cd (повний шлях до програми), і після цього запустити програму за допомогою функції python (назва програми.py). Для початку роботи програми потрібно війти в меню ПУСК – Всі програми – cmd і виконати дії наведені вижче.

Програма читає текстовий файл у тій же директорії, в якій знаходиться сама. Файл має мати назву “datafile.txt”, за бажанням можна змінити назву файлу з

вихідними даними, яка знаходиться у модулі np.loadtxt. Дані мають бути подані обов’язково у форматі двох стовпчиків, перший стовпчик час у хвилинах, другий – значення магнітного поля у нТл (X компонент магнітного поля землі).



datafile – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

1	19224.9
2	19224.9
3	19225
4	19225.2
5	19225.3
6	19225.4
7	19225.5
8	19225.7
9	19226
10	19226
11	19226.3
12	19226.4
13	19226.5
14	19226.2
15	19226.3
16	19226.2
17	19226
18	19226
19	19226
20	19226
21	19226.1
22	19226.3
23	19226.5
24	19226.8
25	19226.9
26	19226.9
27	19227.1
28	19227.3
29	19227.5
30	19227.6
31	19227.5
32	19227.3
33	19227.1
34	19227

Рис. 2.3 Приклад подання даних для програми розрахунку та візуалізацію амплітуди низькочастотних коливань МПЗ.

Після отримання відповідних даних, програма проводить обчислення відхилень від середнього значення для коливань та використовує фільтр низьких частот з

пакету MagPy для обробки обчислених значень. Зазначений фільтр застосовується для частот 0.1, 0.01, 0.001 Гц. Частоти за бажанням також можна змінити у змінній freqs.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import magpylib as magpy
import pandas as pd

# Load data from file
data = np.loadtxt('datafile.txt')

# Extract time and field strength arrays
time = data[:, 0]
field = data[:, 1]

# Set up frequency ranges
freqs = [0.1, 0.01, 0.001]

# Perform Fourier transform on field data for each frequency range
for freq in freqs:
    # Set up time step
    dt = time[1] - time[0]

    # Calculate Fourier coefficients and frequencies
    coeffs = np.fft.rfft(field)
    freqs_fft = np.fft.rfftfreq(len(field), d=dt)

    # Extract the frequency range of interest
    mask = (freqs_fft >= freq) & (freqs_fft < (freq*10))
    coeffs_masked = coeffs.copy()
    coeffs_masked[np.logical_not(mask)] = 0

    # Calculate the inverse Fourier transform to obtain the filtered field
```

```
filtered_field = np.fft.irfft(coeffs_masked)

# Plot the filtered field as a function of time
plt.figure()
plt.plot(time, filtered_field)
plt.xlabel('Time (m)')
plt.ylabel('Amplitude (nT)')
plt.title('Filtered Earth Field ({} Hz)'.format(freq))
plt.savefig('earth_field_{}Hz.png'.format(str(freq).replace('.', '_')))

# Save plot data to txt
np.savetxt(f'results_{freq}.txt', filtered_field, fmt='%.15f')
```

Рис. 2.4 Лістинг програми розрахунку та візуалізації наднизькочастотних коливань магнітного поля Землі

Після виконання обчислень коливань на вказаних вище частотах, програма для розрахунків та візуалізації низькочастотних коливань магнітного поля Землі створює та зберігає три файли у форматі png, які відображають коливання на певній заданій частоті. Додатково, програма створює три текстові файли, що містять значення МПЗ після застосування фільтру низьких частот. Ці файли призначені для подальшої обробки даних. Крім того, формується композитна інтегрована візуалізація, яка включає всі три графіки з різними вищезазначеними частотами для даного дня.

2.1.3 Статистичні методи обробки даних. Розрахунок коефіцієнтів кореляції

Для ізоляції наднизькочастотної складової магнітного поля Землі з отриманого набору даних було використано частотний фільтр з пакету MagPy. Цей фільтр дозволяє виділяти коливання при певних заданих частотах з відомою частотою дискретизації. При обчисленнях наднизькочастотних коливань магнітного поля використовувався метод Фур'є-аналізу.

Для побудови графіків та діаграм було використано мову програмування Python з використанням графічного пакету matplotlib, та за допомогою комп’ютерної програми “Microsoft Excel 2021”. Крім того, для отримання додаткових функціональних можливостей використовувалися допоміжні пакети numpy та pandas мови програмування Python.

З метою оцінки інтенсивності наднизькочастотних магнітних коливань Землі, було проведено розрахунок середнього значення M інтенсивності магнітного поля землі та наднизькочастотних магнітних коливань з 11.30 до 12.30 кожного дня протягом жовтня 2009 р., адже саме в цей час проводилася реакція метахромазії волютинових гранул дріжджів. Для цього використовувалась наступна формула: $M = \Sigma xi / n$, де xi представляє собою значення наднизькочастотних магнітних коливань, отриманих для частот 0,1; 0,01; 0,001 Гц з частотою дискретизації 1 Гц, а n відображає кількість хвилин у годині.

У цьому дослідженні ми провели оцінку коефіцієнтів кореляції між сукупними середніми погодинними добовими значеннями напруженості наднизькочастотних магнітних коливань МПЗ при частоті 0,1; 0,01; 0,001 Гц та значеннями реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів.

Для статистичної обробки даних використовувалися методи описової статистики, такі як обчислення середнього арифметичного та стандартного відхилення, а також індуктивної математичної статистики, зокрема непараметричний коефіцієнт кореляції Спірмена. В даній роботі ми використали коефіцієнт рангової кореляції Спірмена тому, що при порівнянні значення МПЗ, НКМПЗ та значення реакції метахромазії мають якісно різні ознаки.

Для цих обчислень використовувалися комп'ютерна програма "Microsoft Excel 2021" та мова програмування Python з використанням пакету "pandas". Експериментальні дані були оброблені з використанням статистичного пакету

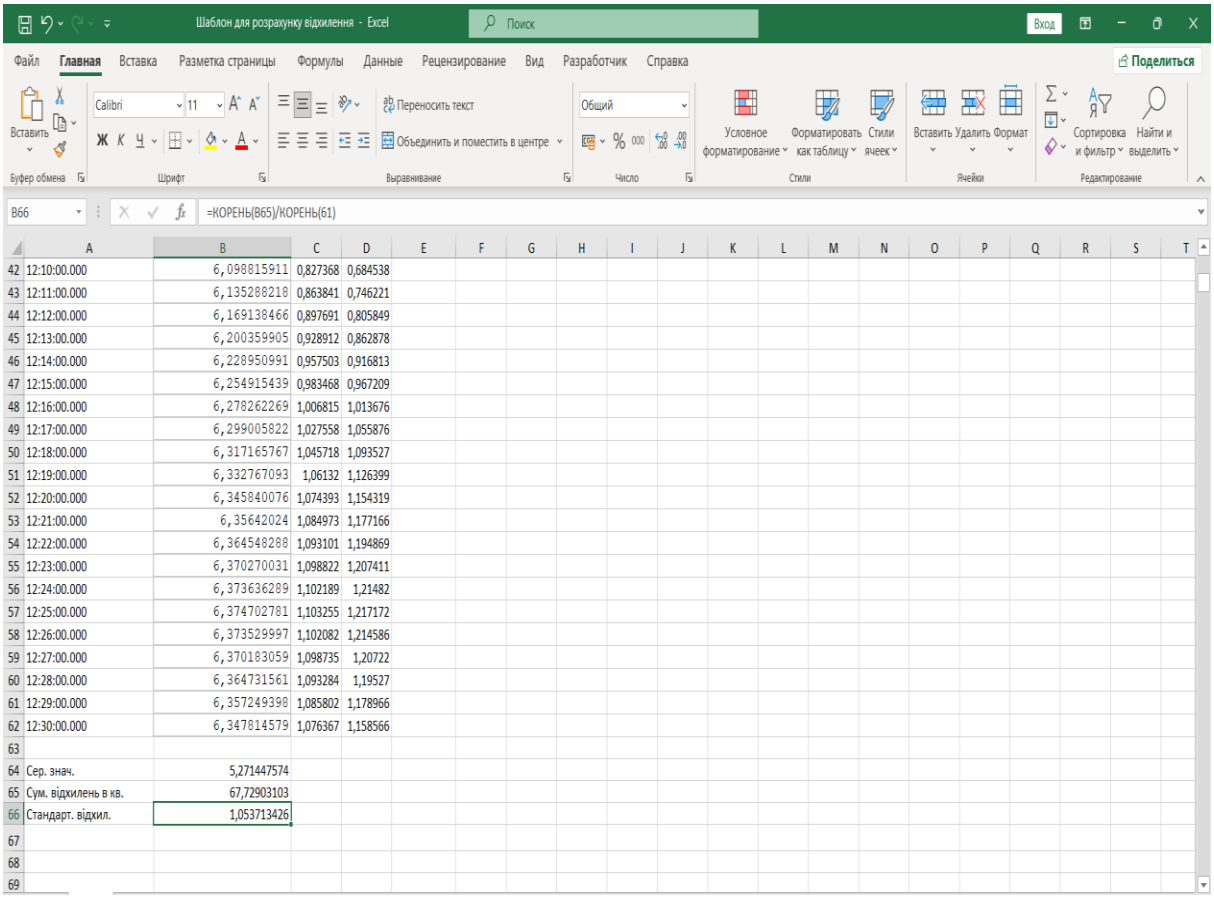
Microsoft Excel, що дозволило розрахувати показники, такі як середнє арифметичне (M) та стандартне відхилення (s).

Середнє арифметичне значення обчислювали за формулою: $\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} X_t$,

де $\overline{X}$ - середнє арифметичне; n -кількість показників; x_i-особисті значення показників. Стандартне відхилення є мірою оцінки розкиду даних, його визначали за формулою:

$$s = \frac{\sqrt{(x_1-\overline{x})^2+(x_2-\overline{x})^2+\cdots+(x_N-\overline{x})^2}}{\sqrt{N-1}},$$

де N – кількість спостережень, $\overline{x}$ - середнє арифметичне значень спостережень, x_i - значення кожного із спостережень.



	A	B	C	D
42	12:10:00.000	6,098815911	0,827368	0,684538
43	12:11:00.000	6,135288218	0,863841	0,746221
44	12:12:00.000	6,169138466	0,897691	0,805849
45	12:13:00.000	6,200359905	0,928912	0,862878
46	12:14:00.000	6,228950991	0,957503	0,916813
47	12:15:00.000	6,254915439	0,983468	0,967209
48	12:16:00.000	6,278262269	1,006815	1,013676
49	12:17:00.000	6,299005822	1,027558	1,055876
50	12:18:00.000	6,317165767	1,045718	1,093527
51	12:19:00.000	6,332767093	1,06132	1,126399
52	12:20:00.000	6,345840076	1,074393	1,154319
53	12:21:00.000	6,35642024	1,084973	1,177166
54	12:22:00.000	6,364548288	1,093101	1,194869
55	12:23:00.000	6,370270031	1,098822	1,207411
56	12:24:00.000	6,373636289	1,102189	1,21482
57	12:25:00.000	6,374702781	1,103255	1,217172
58	12:26:00.000	6,373529997	1,102082	1,214586
59	12:27:00.000	6,370183059	1,098735	1,20722
60	12:28:00.000	6,364731561	1,093284	1,19527
61	12:29:00.000	6,357249398	1,085802	1,178966
62	12:30:00.000	6,347814579	1,076367	1,158566
63				
64	Сер. знач.	5,271447574		
65	Сум. відхилень в кв.	67,72903103		
66	Стандарт. відхил.	1,053713426		
67				
68				
69				

Рис. 2.5 Приклад зображення розробленого шаблону Microsoft Excel для автоматизованого розрахунку середнього арифметичного та стандартного відхилення.

Дані маніпуляції проводили за допомогою спеціально розробленого шаблону в “Microsoft Excel” для розрахунку середнього арифметичного та стандартного відхилення більш автоматизованим та ефективним методом, використовуючи вижче наведені формули, у відповідних комірках.

Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена розраховували по формулі [24]:

$$R_S = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n} d_i}{n(n^2 - 1)},$$

де d_i - різниця між рангами показників одних і тих же досліджуваних у впорядкованих рядах. n - кількість досліджуваних. Далі коефіцієнт порівнюють із спеціальною таблицею, подібно t-критерію Ст’юдента. При розрахунках використовували пакет “pandas” мови програмування Python (рис. 2.6).

```
import scipy.stats as stats
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import magpylib as magpy
import pandas as pd
from scipy.stats import spearmanr

metachrom = np.array([3, 3, 3, 3, 2, 3, 3, 3, 3, 1])
```

```
daily = np.array([19213.02, 19215.43, 19224.69, 19203.53, 19224.08, 19223.13, 19214.68, 19235.81, 19216.54, 19224.42])
Fourie_1 = np.array([-0.017841388, 0.0000971085, 0.007131731, -0.00847953, -0.003806293, 0.003123984, -0.002057021, 0.016504403, -0.001170638, -0.000812695])
Fourie_2 = np.array([0.678419054, 0.605526558, 0.614338534, 0.254094502, -0.423945165, -0.176423391, -0.157728854, 0.252897631, -0.082889871, -0.080921168])
Fourie_3 = np.array([-8.784734111, 6.697309511, -0.441265973, -2.723000379, 3.792625991, 5.894388576, 1.442749724, 4.322616072, 12.10154035, 5.271447574])

correlation_1, _ = spearmanr(metachrom, daily)
correlation_2, _ = spearmanr(metachrom, Fourie_1)
correlation_3, _ = spearmanr(metachrom, Fourie_2)
correlation_4, _ = spearmanr(metachrom, Fourie_3)

print ("Correlation daily = ", correlation_1)
print ("Correlation 0.1 Hz = ", correlation_2)
print ("Correlation 0.01 Hz = ", correlation_3)
print ("Correlation 0.001 Hz = ", correlation_4)
```

Рис. 2.6 Лістинг програми для розрахунку коефіцієнтів кореляції Спірмена між сукупними середніми погодинними добовими значеннями напруженості наднизькочастотних магнітних коливань МПЗ при частоті 0,1; 0,01; 0,001 Гц та значеннями реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів.

Програма присвоює значення змінним, які відповідають варіаційним рядам значень сукупних середніх погодинних добових значень напруженості

наднизькочастотних магнітних коливань МПЗ при частотах 0,1; 0,01; 0,001 Гц та значень реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів. Дані мають бути подані обов’язково у форматі показаному на рис. 2.6 всередині функції np.array(). Значення змінним metachrom, daily, Fourie_1, Fourie_2, Fourie_3 (metachrom – значення реакцій метахромазії, daily - середні погодинні добові значення напруженості магнітного поля при частоті 1 Гц, Fourie_1 - середні погодинні добові значення напруженості наднизькочастотних магнітних коливань МПЗ при частоті 0,1 Гц, Fourie_2 - середні погодинні добові значення напруженості наднизькочастотних магнітних коливань МПЗ при частоті 0,01 Гц, Fourie_3 - середні погодинні добові значення напруженості наднизькочастотних магнітних коливань МПЗ при частоті 0,001 Гц) можна присвоїти іншими даними, щоб обчислити коефіцієнти кореляції Спірмена між різними списками чисел.

Після присвоєння значень змінним, програма проводить обчислення коефіцієнтів кореляції Спірмена між сукупними середніми погодинними добовими значеннями напруженості наднизькочастотних магнітних коливань МПЗ при частоті 0,1; 0,01; 0,001 Гц та значеннями реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів та виводить їх у графічній оболонці.

Для роботи програми необхідно встановити її. Після встановлення потрібно через графічну оболонку встановити робочу директорію в якій знаходиться програма, здійснити це можна за допомогою функції cd (повний шлях до програми), і після цього запустити програму за допомогою функції python (назва програми.py). Для початку роботи програми потрібно війти в меню ПУСК – Всі програми – cmd і виконати дії наведені нижче.

2.2 Результати та обговорення

2.2.1 Визначення значень та візуалізація амплітуди коливань магнітного поля Землі на різних частотах

Для перевірки роботи програми по визначенню коефіцієнтів кореляції були використані дані проведення реакції метахромазії за жовтень 2009 р. Попередньо готувались графіки щохвилинних значень інтенсивності геомагнітного поля протягом доби (рис.2.7). Створювався графік щохвилинних значень амплітуди МПЗ протягом доби за допомогою базових функцій комп'ютерної програми "Microsoft Excel 2021". Після проведення обчислень коливань на зазначених вище частотах, програма розрахунку та візуалізації наднизькочастотних коливань магнітного поля Землі генерує та зберігає 3 файли у форматі png, які відповідають коливанням на певній заданій частоті (рис. 2.8). Також програма генерує 3 текстових файли із значеннями МПЗ після накладання фільтру низьких частот, які ми використаємо у подальшій обробці даних.

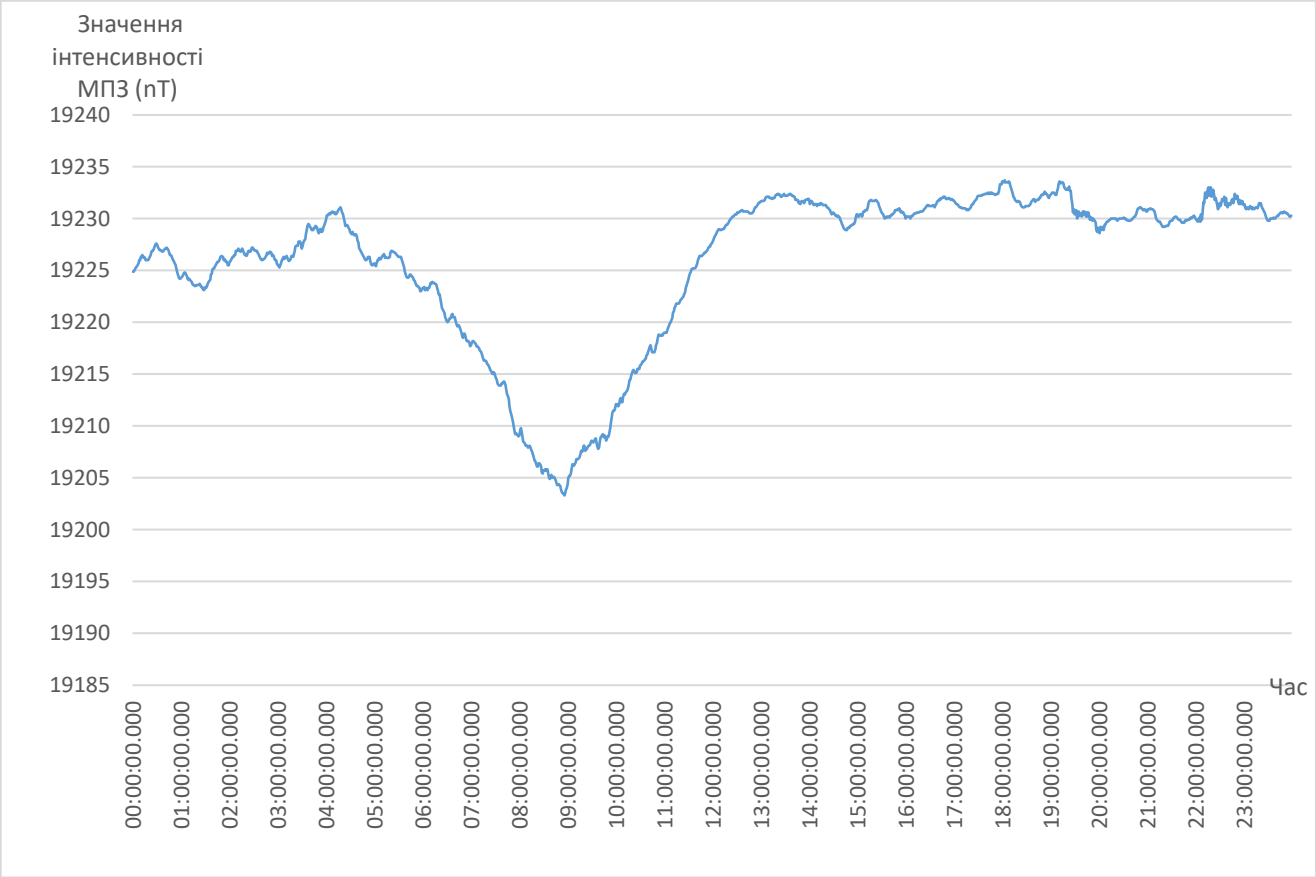
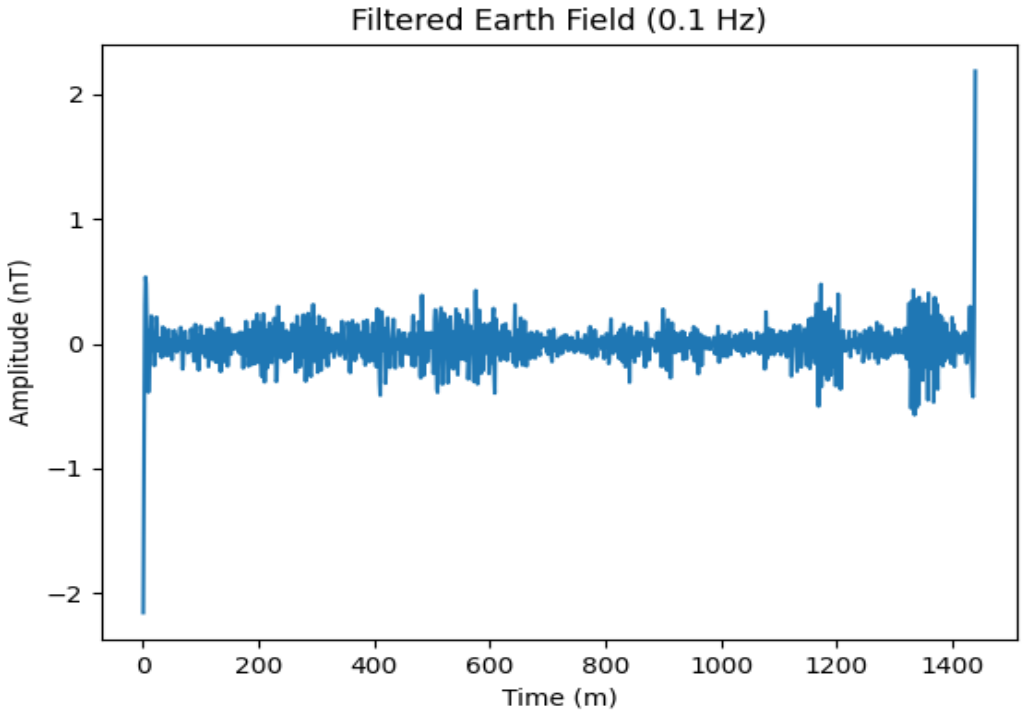
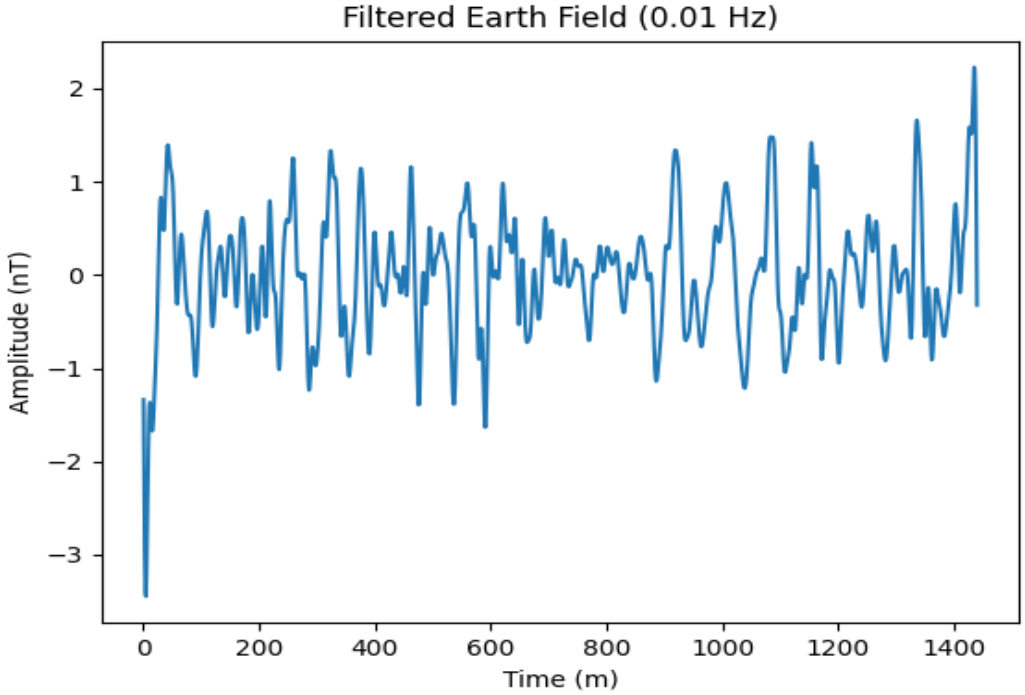


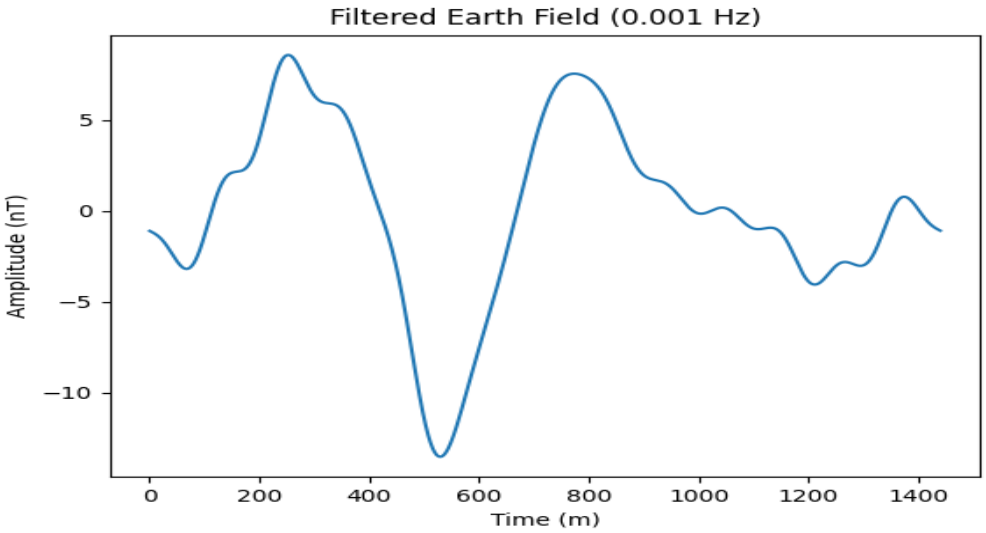
Рис. 2.7. Приклад графіку похвилинних значень інтенсивності МПЗ протягом доби за 01.09.2009 р.



а)



б



в)

Рис. 2.8. Приклад графіків амплітуди коливань МПЗ на частотах 0.1 (а), 0.01 (б), 0.001 Гц (в) отримані за 1.01.2009 р.

За допомогою розробленої програми, формується композитна інтегрована візуалізація, яка включає всі 3 графіки з різними, визначеними вище частотами, для даного дня (рис. 2.8).

Отримані нами експериментальні дані підтвердили зв'язок між зменшенням частоти і збільшенням інтенсивності наднизькочастотних магнітних пульсацій (МПЗ) (вимірювані в нанотеслах, нТл) (рис. 2.8), що відображається на теоретичній кривій, наведеній раніше (рис. 1.3). На рисунку 2.8 а,б,в показано, що амплітуда МПЗ при частоті 0,001 Гц має найвище значення (від -13 до +8 нТл) порівняно з іншими вибраними частотами. Ця закономірність відображається під час визначення амплітуди геомагнітного поля щодня. Але, крім цього, спостерігається, що характер кожної з обраних низькочастотних геомагнітних пульсацій проявляється по-різному в різні дні, що природно залежить від стану магнітосфери Землі та відображається у характеристиках магнітного поля Землі.

2.2.2 Визначення середніх годинних щодобових значень амплітуди коливань магнітного поля Землі

Після цього за допомогою вище наведеного шаблону Microsoft Excel для розрахунку стандартного відхилення розраховуємо середні арифметичні значення амплітуди МПЗ та НКМПЗ. Ці значення були розрахували за допомогою розробленої програми і отримані у вигляді текстових файлів, де булі подані середні дані та розкид даних в період з 11.30 по 12.30 (коли завжди проводилася реакція метахромазії волютинових гранул дріжджів) для кожної доби протягом жовтня 2009 р. В кінцевому результаті отримуємо середні погодинні добові значення МПЗ та НКМПЗ на всіх вище зазначених частотах протягом жовтня 2009 р. у вигляді M ± m, де M – середнє арифметичне значення МПЗ та НКМПЗ, та m – розкид даних. Визначення середніх годинних щодобових значень амплітуди коливань магнітного поля Землі було рекомендовано Інститутом мікробіології та вірусології НАН України розпочати з жовтня місяця 2009 р. Це визначалось тим, що зробити аналіз впливу низькочастотних флуктуацій магнітного поля на реакцію метахромазії волютинових гранул дріжджів вимагає значного часу, а крім цього у жовтні кожного року, як правило, спостерігається підвищена активність флуктуації ГМП.

Обраховані середні погодинні добові значення інтенсивності МПЗ (рис. 2.9) та середні погодинні добові значення інтенсивності НКМПЗ на частотах 0.1, 0.01, 0.001 Гц (рис. 2.10), дозволяють зіставити їх із щоденними значеннями реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів протягом жовтня 2009 р. Часові та амплітудні погодинні характеристики МПЗ, були отримані з даних, поданих в сервісі INTERMAGNET. З цими характеристиками були співставленні значення реакції метахромазії, яка проводилася в період 12 год ± 5 хв кожного дня протягом жовтня 2009 р. (рис. 2.11).

Рис. 2.9 Середні годинні щодобові значення магнітного поля Землі протягом жовтня 2009 р.

а

б

в

Рис. 2.10 Середні погодинні добові значення амплітуди коливань магнітного поля Землі на частоті 0,1 (а); 0,01 (б); 0,001 (в) Hz протягом жовтня 2009 р.

Рис. 2.11. Кількісні значення реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів протягом жовтня 2009 р.

Графічний аналіз отриманих даних напруженості геомагнітного поля на частотах <1 Гц (рис. 2.10 а, б, в) визначив, що ці дані повністю вкладаються в теоретичні розрахунки, що зі зменшенням частоти збільшується інтенсивність МПЗ (з 0,03 нТл до 10 мкТл) [5].

Подалі в роботі отримані середні погодинні добові значення магнітного поля Землі та середні погодинні добові значення амплітуди коливань магнітного поля Землі на частоті 0,1; 0,01; 0,001 Hz у жовтні 2009 р. були використані для визначення зв'язків між значеннями низькочастотних значень інтенсивності коливань магнітного поля Землі та значеннями реакції метахромазії в дріжджових клітинах шляхом розрахунків непараметричних коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена.

2.2.3 Визначення кореляційних зв'язків між значеннями амплітуди низькочастотних коливань магнітного поля Землі та значеннями реакції метахромазії волютинових гранул

Було проведено вибірку всіх днів за жовтень 2009 р., в які проводили дослідження реакцій метахромазії волютинових гранул дріжджів, та сформовано масив їх кількісних значень. Також було сформовано масиви середніх одногодинних значень сумарної інтенсивності МПЗ та інтенсивності геомагнітного поля на низьких частотах в 0,1, 0,01 та 0,001 Гц в ці ж дні. Після цього було проведено кореляційний аналіз сформованих масиві цих значень інтенсивності МПЗ на різних частотах із масивом визначених кількісних значень реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів.

Для статистичної обробки даних використали методи описової та індуктивної математичної статистики, зокрема непараметричний коефіцієнт кореляції Спірмена. Використання коефіцієнта рангової кореляції Спірмена для нашої задачі було обрано тому, що цей коефіцієнт кореляції добре підходить для порівнянь середньостатистичних значень інтенсивності МПЗ, НКМПЗ на різних частотах та одноразових значень реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів, які мають якісно різні ознаки для співставлення. Для цих обчислень використовували комп'ютерну програму "Microsoft Excel 2021" та мова програмування Python з використанням пакету "pandas".

Попередні отримані потижневі та помісячні коефіцієнти кореляції між інтенсивністю МПЗ на низьких частотах та даними реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів за жовтень 2009 р. становили (табл.2.1): $R = -0{,}32 \div 0{,}15$ – на частоті 0.1 Гц; $R = -0{,}8 \div 0{,}32$ – на частоті 0.01Гц; $R = 0{,}18 \div 0{,}67$ – на частоті 0.001Гц. Отримані результати порівнянь свідчать, що збільшення коефіцієнту кореляції завжди відбувається із пониженням частоти варіацій інтенсивності МПЗ, що вказує на підвищення впливу значень інтенсивності

геомагнітного поля, при пониженні його частоти, на зміни значень реакції метахромазії волютинових значень дріжджів (табл.2.1). Крім того видно, що варіації визначених потижневих коефіцієнтів кореляції суттєво залежать від стохастичних важко прогнозованих змін інтенсивності геомагнітного поля (табл.2.1).

Таблиця 2.1. Потижневі та місячні коефіцієнти кореляції між значеннями реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів та одногодинними щодобовими сумарними та низькочастотними значеннями інтенсивності геомагнітного поля за жовтень 2009 року

Інтенсивність ГМП на різних частотах	Тижні				Місяць
	01.10.09-07.10.09	08.10.09-14.10.09	15.10.09-21.10.09	22.10.09-31.10.09	01.10.09-31.10.09
Σ частота	-0,22	0,58	0,0	-0,35	-0,016
0,1 Гц	-0,27	-0,29	-0,32	0,15	-0,15
0,01 Гц	-0,80	-0,14	0,32	0,4	0,11
0,001 Гц	0,67	0,29	0,16	0,18	0,25

Були розраховані також сумарні місячні коефіцієнти кореляції між значеннями реакції метахромазії волютинових гранул та, сінхронізованими з ними в часі, погодинними добовими сумарними значеннями інтенсивності ГМП за жовтень 2009 року (табл. 2.1.). З цих даних також видно, що варіації визначених місячних коефіцієнтів кореляції не прогнозовано суттєво залежать від стохастичних змін інтенсивності геомагнітного поля (табл.2.1), що слід враховувати при подальших розрахунках.

Наведені в таблиці 2.1 значення коефіцієнтів кореляції між кількісними оцінками змін реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів та визначеними сумарними та низькочастотними значеннями інтенсивності ГМП були подані в графічному вигляді на рис. 2.12.

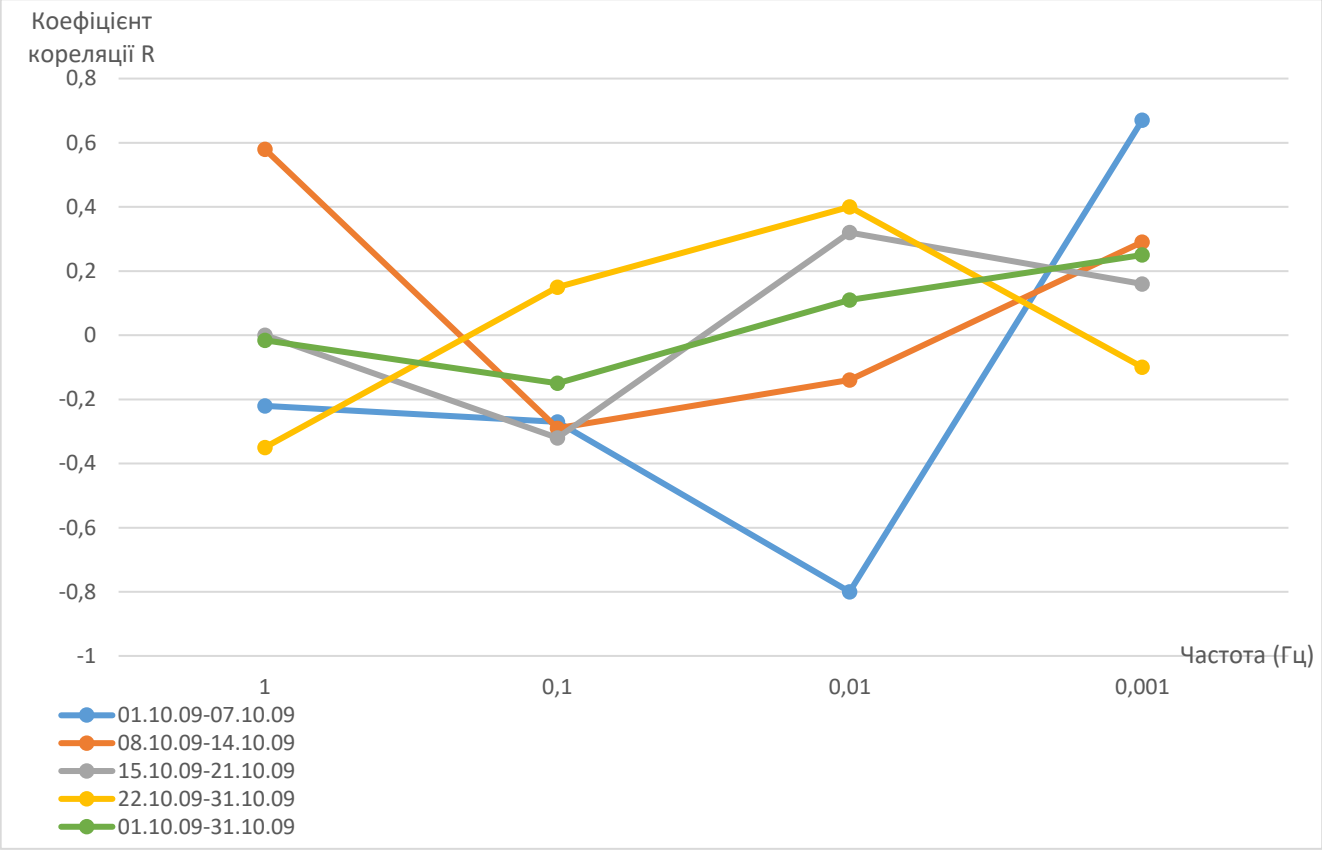


Рис. 2.12 Графіки змін щотижневих (1 тиждень - блакитні, 2 тиждень - червоні, 3тиждень - сірі, 4 тиждень - жовті) та місячних (зелені) коефіцієнтів кореляції між пониженням частоти ГМП та проявом реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів.

Приведені на рис. 2.12 показники коефіцієнтів кореляції в період місяця відрізняються в більшості випадків. Але при цьому слід враховувати, що на частоту вияву максимальних значень реакції метахромазії можуть впливати інші фактори, нам невідомі, які можуть зменшувати поліфосфатний статус волютинових гранул.

В результаті проведених експериментів були виявлені значущі коефіцієнти кореляції в діапазоні від 0,29 до 0,67, між зменшенням частоти інтенсивності МПЗ та змінами реакції метахромазії у волютинових гранулах дріжджів. При цьому на частоті варіацій МПЗ 0.1Гц, коефіцієнт кореляції визначались до R = 0,15; на частоті 0.01Гц - до R = 0,4; на частоті 0.001Гц - до R = 0,67. Ці результати мають бути врахованими у різних біотехнологічних процесах.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Дипломна робота була здійснена з дотриманням вимог, пов'язаних із охороною праці, пожежною та екологічною безпекою, а також безпекою в умовах надзвичайних ситуацій.

Ґрунтуючись на результатах атестації робочого місця відповідно до умов праці у даному розділі, ми розглянули та розробили широкий спектр заходів та засобів з метою поліпшення умов праці, пожежної безпеки та безпеки в екстремальних ситуаціях.

3.1 Заходи з охорони праці в комп'ютерній лабораторії

3.1.1 Забезпечення безпеки під час виконання робіт у лабораторних приміщеннях, призначених для комп'ютерних досліджень та експериментів

Відповідно до класифікації, у лабораторному середовищі можливе виявлення фізичних, хімічних, біологічних та психофізіологічних факторів.

Для забезпечення оптимальних умов роботи з комп'ютером рекомендується розташовувати екран дисплея перпендикулярно до напрямку погляду. Знаходження екрана під кутом може призводити до появи постави сутулості. Рекомендована відстань від очей до дисплея трохи більше, ніж звичайна відстань між очима та книгою. У разі застосування старіших типів моніторів, перед екраном повинен бути встановлений спеціальний захисний екран. Якщо це неможливо, рекомендується сидіти на відстані витягнутої руки від монітора. Крім того, важливо створити неоднорідне поле зору для запобігання надмірному напруженню ока.

Велике значення має врахування форми спинки крісла, яка повинна адаптуватися до форми спини користувача. Важливо, щоб висота крісла була такою, щоб уникнути неприємного тиску на куприк або стегна. Рекомендується комплектувати крісло бильцями, що дозволяють забезпечити оптимальне положення рук під час роботи. Правильне розташування крісла передбачає, щоб користувачу не

було потрібно надто сильно витягуватися до клавіатури. Поміркована фізична активність, включаючи рухи та зміну положення тіла, а також регулярні перерви у роботі, є необхідними для забезпечення здорового стану користувача [25].

Стратегії для попередження ризику ураження електричним струмом полягають у належному розташуванні обладнання та електричних кабелів. Інші заходи, спрямовані на забезпечення електробезпеки, взаємовідповідні з загальними принципами пожежо- та електробезпеки.

Для запобігання пожежним ризикам, рекомендується вживати профілактичні заходи, такі як використання прихованих електромереж, встановлення надійних розеток, виготовлених з пожежобезпечних матеріалів, та забезпечення використання силових кабелів, розрахованих на значно більше навантаження, ніж потрібно. Додатково, живлення обладнання має здійснюватись за допомогою штатних вимикачів. Важливо регулярно очищати внутрішні компоненти комп'ютерів та іншого обладнання від нагромадженого пилу, а також розміщувати комп'ютери на незаймистих, неспалюваних столах. Щоб уникнути виникнення іскор, слід мінімізувати частоту вставання та витягування штепсельних вилок з розеток [25].

3.1.2 Освітлення виробничих приміщень

Вимоги до охорони праці щодо освітлення приміщень комп'ютерних лабораторій зазвичай базуються на відповідних нормативних документах та рекомендаціях.

Загальні вимоги та рекомендації щодо освітлення приміщень комп'ютерних лабораторій:

Загальне освітлення:

- Забезпечення рівномірного освітлення на робочих місцях та по всьому приміщенню.

- Використання світлодіодних (LED) ламп або енергоефективних джерел світла для зниження споживання електроенергії та тепловиділення.
- Загальна освітленість не менше 300 лк (люксів), але може змінюватися залежно від конкретних вимог та функціонального призначення приміщення [25].

Природне освітлення:

- Забезпечення достатньої кількості природного світла у приміщенні за допомогою вікон або світлопропускаючих конструкцій.
- Уникнення блискіття на робочих поверхнях, зокрема, екрани комп'ютерів, шляхом застосування регулювання жалюзі або відбивних покриттів.

Робочі місця:

- Забезпечення адекватного освітлення на робочих столах або стільницях, що використовуються для комп'ютерів.
- Уникнення блискіття та відблисків на моніторах комп'ютерів шляхом правильного розташування світильників та екранів.
- Регулювання яскравості освітлення на робочих місцях для забезпечення комфортної робочої атмосфери.

Захист від відблисків та блискіття:

- Використання антиблікових покриттів на екрани комп'ютерів та дисплеїв для зменшення відблисків.
- Правильне розташування робочих місць відносно джерел світла та вікон для уникнення неприємного блискіття.

Екстрених ситуацій:

- Забезпечення додаткового аварійного освітлення, яке може включатися в разі відключення загального освітлення або пожежі.
- Розташування екстрених виходів та шляхів евакуації у видимих місцях та забезпечення їх підсвіткою [25].

3.1.3 Аерозольний середовищний стан в робочій зоні

Відповідно до Державних санітарних норм 3.3.6.042-99 та підтверджених результатами лабораторної атестації робочого місця співробітників, виконання роботи у робочому місці (комп'ютерний клас) належить до категорії Іб (легкі роботи).

Охорона праці в комп'ютерних лабораторіях включає ряд вимог щодо повітря в робочій зоні. Основні вимоги в цьому випадку можуть варіюватися в залежності від конкретних нормативних актів і правил, що діють у вашій країні або регіоні. Однак, я можу навести загальні рекомендації, які часто використовуються для забезпечення належної якості повітря в приміщеннях комп'ютерних лабораторій:

Вентиляція: Приміщення комп'ютерної лабораторії повинні мати ефективну систему вентиляції, яка забезпечує постійний потік свіжого повітря. Це може включати вентиляційні отвори, витяжні вентилятори або кондиціонери.

Фільтрація повітря: Встановлення фільтрів повітря може допомогти зменшити концентрацію пилу, алергенів та інших забруднюючих речовин у повітрі. Фільтри повинні періодично очищатися або замінюватися, щоб забезпечити їх ефективну роботу.

Контроль вологості: Рівень вологості в приміщенні повинен бути контрольованим. Занадто висока або занадто низька вологість може негативно впливати на комп'ютерне обладнання і здоров'я працівників. Рекомендовані рівні вологості зазвичай коливаються від 40% до 60%.

Контроль температури: Температура в приміщенні повинна бути комфортною для працівників. Зазвичай рекомендована температура коливається від 20°C до 24°C.

Виявлення викидів шкідливих речовин: Якщо у комп'ютерній лабораторії використовуються речовини, які можуть мати негативний вплив на здоров'я, слід встановити систему виявлення викидів і тривожні сигнали, що спрацьовують при перевищенні безпечних рівнів [25].

Таблиця 3.1. Рекомендовані значення параметрів мікроклімату в робочій зоні комп’ютерного приміщення

Назва дільниці	Період року	Категорія робіт	Оптимальні норми					
			Оптимальна температура повітря, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря,м/с	
Комп’ютерна лабораторія		Легка (Іб)	Нормативна	Фактична	Нормативна	Фактична	Нормативна	Фактична
	Холодний		20-24	21,2	75	70	Не більше 0,2	0,2
	Теплий		22-28	25	75	70	Не більше 0,2	0,2

3.1.4 Діяльність щодо забезпечення захисту від виробничого шуму та вібрації

У лабораторії присутнє обладнання, оснащене електроприводами, що включає комп'ютери з встановленими процесорами, в яких експлуатуються вентилятори та спеціальне вентиляційне устаткування, що забезпечує вироблення шуму та вібрацій.

У відповідності до нормативного документа ДСН 3.3.6.037-99 визначено припустимі рівні звукового тиску, що характеризуються значенням 80 дБА у лабораторних приміщеннях та на території комп'ютерної лабораторії, та значенням 60 дБА в приміщеннях управління та робочих кімнатах.

Відповідно до атестації робочого місця, встановлено, що рівень звукового тиску в комп'ютерній лабораторії становить 69 дБА, що відповідає вимогам нормативних норм [25].

Виміри в комп’ютерній лабораторії розраховуємо (еквівалентне значення шуму) проводимо за формулою:

$$L_{екв}=1/T*10\ Lg \sum_{i=1}^{n} Ti*10^{0.1*Li}$$

У цілях зменшення рівня шуму та вібрації в даній лабораторії планується виконання наступних заходів:

Рівень шуму:

У комп'ютерних лабораторіях рекомендується забезпечувати прийнятний рівень шуму для забезпечення комфорту працівників. Рівень шуму може бути обмежений певними нормами, наприклад, вказаними в місцевому законодавстві або стандартах.

Часто рекомендується використовувати акустичні матеріали та інші заходи для зменшення шуму в комп'ютерних лабораторіях, наприклад, шумопоглинаючі покриття підлоги, стін та стелі.

Працівникам, які регулярно піддаються впливу шуму, можуть бути розподілені засоби індивідуального захисту, такі як наушники або навушники з активним шумозаглушенням.

Вібрація:

Якщо в комп'ютерній лабораторії присутня вібрація, наприклад, від роботи обладнання, необхідно вжити заходів для зменшення її впливу на працівників.

Це може включати використання спеціальних підставок або амортизуючих матеріалів для зниження передачі вібрації на робочі столи або інші робочі поверхні [25].

Працівники, які працюють у зоні вібрації, можуть потребувати засобів індивідуального захисту, таких як спеціальні рукавиці або опорні мати.

3.1.5 Безпека електричних систем та заходи щодо її забезпечення

Основні причини поразки людей електричним струмом у лабораторному середовищі можна умовно узагальнити наступним чином з урахуванням наукового стилю:

- Взаємодія з відкритими струмоведучими елементами та провідниками, що перебувають під напругою внаслідок порушення ізоляції. Ця причина виникає через неналежне дотику до таких елементів, що викликає струмовий контакт.
- Поразка через утворення електричної дуги. У такому випадку, порушення ізоляції або несправність обладнання можуть призвести до виникнення електричної дуги, що здатна перенести електричний струм на людину, перебуваючи у близькому контакті з цим джерелом.

Отже, ці причини вирізняються як основні фактори, що призводять до ураження людей електричним струмом у лабораторному середовищі.

Основні вимоги щодо електробезпеки в таких приміщеннях включають:

Установлення правильного електрообладнання: Все електрообладнання повинно відповідати вимогам безпеки, бути високоякісним і встановлене згідно з належними нормами. Електричні розетки, розподільні щити і проводка повинні бути в гарному стані.

Заземлення: Усе електрообладнання повинно бути правильно заземлене для запобігання небезпечних струмів. Заземлюючі проводи повинні бути правильно підключені до заземлення [25].

Перевірка електрообладнання: Регулярна перевірка електрообладнання на наявність дефектів або пошкоджень є важливою. Це включає перевірку електричних розеток, кабелів, розподільних щитів і заземлення.

Безпека кабелів і проводів: Кабелі та проводи повинні бути правильно укладені і закріплені, щоб уникнути пошкоджень і струмових ударів. Також важливо уникати перекручення і перетискання кабелів.

Запобігання перевантаженню: Необхідно уникати перевантаження електричної системи, яке може призвести до пожежі або пошкодження обладнання. Рекомендується встановити автоматичні вимикачі або перенавантажувачі для захисту від перевантажень.

Правила використання електрообладнання: Працівники повинні бути навчені правилам безпечного використання електрообладнання. Це включає уникання вологості біля електричних пристроїв, не використовувати обладнання з мокрими руками, уникати підключення неправильних пристроїв до розеток і так далі.

Пожежна безпека: Комп'ютерні лабораторії повинні мати встановлені пожежні тривожні системи та вогнегасники. Необхідно проводити регулярну перевірку і обслуговування цих систем для забезпечення їх працездатності.

Перевірка заземлення: Регулярна перевірка заземлення електрообладнання і проведення вимірювань заземлення може допомогти виявити будь-які проблеми та запобігти виникненню струмових ударів [25].

Електричне устаткування, що знаходиться у лабораторії, отримує живлення від трифазної чотирипровідної електромережі змінного струму промислової частоти. У цій мережі нейтральна точка є глухо заземленою, а рівень напруги становить 380/220 В.

У найнебезпечнішому випадку однофазного доторкання в електричній мережі з глухо заземленою нейтраллю, сила струму, яка проходить через людину, досягає максимального значення – 55мА. Напруга дотику – 220В.

Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ-86), комп'ютерна лабораторія відноситься до приміщень, що мають підвищений рівень небезпеки ураження електричним струмом. Устаткування, що використовується у даній лабораторії, належить до класу закритого типу. Під час атестації робочих місць у лабораторії не було виявлено жодних порушень ізоляції обладнання.

3.2 Заходи з забезпечення безпеки під час екстремальних обставин

3.2.1 Заходи з попередження пожежі та забезпечення пожежної безпеки

У лабораторії існують різні пожежонебезпечні зони та потенційні причини виникнення пожеж. Серед них варто відзначити наявність горючих хімічних реактивів, використання горючих речовин та обладнання у лабораторних приміщеннях. Можливі причини загоряння в лабораторії включають руйнування електропроводки, що може бути спричинене механічними, тепловими або хімічними факторами, такими як перенапруга, проти якої можна застосувати подвійну ізоляцію проводки. Також можливими причинами загоряння є перегрів устаткування через порушення методики експерименту [25].

Попередження пожежі та забезпечення пожежної безпеки в комп'ютерних лабораторіях є важливими аспектами охорони праці. Основні вимоги щодо попередження пожежі та забезпечення пожежної безпеки в таких приміщеннях включають:

- Пожежні тривожні системи: Комп'ютерна лабораторія повинна бути обладнана пожежними тривожними системами, які включають детектори диму, пожежні тривожні сигналізації та автоматичні пожежні сповіщувачі. Ці системи повинні бути правильно встановлені, функціонувати належним чином і періодично перевірятися.
- Вогнегасні засоби: В комп'ютерній лабораторії повинні бути наявні вогнегасники інший вогнегасний обладнання, які відповідають місцевим нормам і правилам. Персонал повинен бути навчений використовувати ці засоби та знати місцезнаходження вогнегасників.
- Евакуаційні шляхи: У комп'ютерній лабораторії повинні бути належно позначені та вільні від перешкод евакуаційні шляхи. На дверях та стінах повинні бути розміщені відповідні знаки та написи, що вказують напрямок до виходу. Евакуаційні шляхи повинні бути чітко видимими та доступними в разі надзвичайної ситуації.

- Перевірка електричної системи: Регулярна перевірка електричної системи, включаючи електропроводку, розетки та розподільні щити, допоможе виявити можливі дефекти або неполадки, які можуть стати причиною пожежі.
- Правила безпеки при роботі з електронікою: Персонал повинен бути навчений і використовувати правила безпеки при роботі з електронічними пристроями. Це включає уникання перегріву обладнання, правильне використання кабелів та розеток, а також уникання вологості в приміщенні.
- Навчання персоналу: Всі працівники комп'ютерної лабораторії повинні бути навчені процедурам пожежної безпеки, включаючи евакуаційні плани, використання вогнегасників та процедури в разі пожежі. Це важливо для швидкого та безпечного реагування в разі виникнення пожежі [25].

Для забезпечення ефективності пожежної безпеки важливо негайно приборкати виникнення початкових вогневих вогнищ. В даному випадку, оптимальним вибором є порошкові вогнегасники типу ВП-10А, оскільки вони призначені для гасіння легкозаймистих рідин та горючих газів, тліючих матеріалів, а також електроустановок під напругою. Ці вогнегасники викликають менші пошкодження електрообладнання, на відміну від пінних вогнегасників, що робить їх найбільш оптимальним варіантом.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено програму для розрахунку та візуалізації низькочастотних флуктацій геомагнітного поля на частотах 0,1; 0,01; 0,001 Гц з використанням мови програмування Python, що підтвердило теоретичні припущення щодо значного зростання інтенсивності МПЗ при пониженні частоти і дозволяє розробити механізм змін молекулярної чутливості поліфосфатів при підвищенні інтенсивності низькочастотних флуктуацій геомагнітного поля.

2. Сформовано масиви кількісних одноразових значень реакції метахромазії, об'єднаних в часі із середніми одногодинними значеннями інтенсивності МПЗ за жовтень місяць 2009 р., що дало змогу порівнювати біологічні та геофізичні дані в єдиному просторі та часі.

3. При визначенні кореляційних зв'язків між середніми погодинними значеннями низькочастотних флуктуацій магнітного поля Землі та разовими значеннями реакції метахромазії було використано непараметричний коефіцієнт рангової кореляції Спірмена, що дало змогу співставити ці значення при їх якісний різниці.

4. Розраховані потижневі коефіцієнти кореляції за жовтень 2009 р. між значеннями низькочастотних флуктацій інтенсивності геомагнітного поля та значеннями реакції метахромазії волютинових гранул дріжджів показали, що збільшення коефіцієнту кореляції відбувається із пониженням частоти варіацій МПЗ і може становити: на частоті 0.1Гц до R = 0,15; на частоті 0.01Гц до R = 0,4; на частоті 0.001Гц до R = 0,67.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скайлс Дюрвард Д. Геомагнітне поле, його природа, історія та значення для біології. В кн. Біогенний магнетит і магніторецепція. Нове о біомагнетизмі в 2-х т., ред. Дж.Киршвінк, Д.Джонс, Б.Мак-Фадден. М.: Мир, Т.1, 1989.- с.63-138.

2. Kornberg, A., N. N. Rao, and D. Ault-Riché (1999) Inorganic Polyphosphate: a molecule with many functions. // Ann. Rev. Biochem. **68**, 89-125.

3. Gromozova, E.N; Kachur, T.L.; Voychuk, S.I.; Kharchuk, M.S. Research of Metachromatic Reaction of Saccharomyces cerevisiae. Microbiology Jounal, 2016; 78(3), 45-51. doi:https://doi.org/10.15407/microbiolj78.03.045

4. The electromagnetic fields in a biosphere. т.1. The Electromagnetic fields in the atmosphere of Earth and their biological value. Red. N.V.Krasnogorskaja. M., Science, 1984. - 375 p. (in russian).

5. Горго Ю.П., Разумовський А,К. До питання визначення впливу низькочастотних параметрів магнітного поля Землі на біологічні об’єкти. // Молодий вчений. №6 (21), част.1, 2015. – с. 8-11.

6. Gromozova, O.M.; Kachur, T.L.; Vishnevsky, V.V.; Sychev, O.S. Information Technology of Color Imaging Assessment of Saccharomyces cerevisiae UCM Y-517 Yeast Volutin Granules. Mikrobiol. Z. 2020; 82(5):30-35. doi: https://doi.org/10.15407/microbiolj82.05.030.

7. Binhi, V.N., Rubin, A.B. Theoretical Concepts in Magnetobiology after 40 Years of Research. Cells 2022, 11, 274. https://doi.org/10.3390/ cells11020274.

8. Gromozova E.N., Voychuk S.I., Zelena L.B., Gretskey I.A. Microorganisms as a model system for studying the biological effects of electromagnetic non-ionizing radiation. INVITED PAPERS, 2012, 137. doi: 10.7562/SE2012.2.02.06

9. Горго Ю.П., Мірошник Т.Г., Дідик Л.О., Зайченко О.М. Особливості функціонування біологічних об‘єктів за дії низькочастотних магнітних полів різного

походження // Вісник КНУ. Проблеми регуляції фізіологічних функцій, т.10, 2005. – С. 28-29.

10. V. M. Vagabov, L. V. Trilisenko, E. V. Kulakovskaya, and I. S. Kulaev, Russ. The content of inorganic polyphosphates during the growth of saccharomyces cerevisiae on different sources of carbon nutrition and at different O2 content in the medium. // Microbiology.- 2008.- T. 77, No. 5.- C. 611-616.

11. Gromozova E.N., Bogatina N.I., Bryuzginova N.V., Kachur T.L., Voichuk S.I., Sheikina N.V., Grigoriev P.E. Manifestation of the reaction of metachromasia of volutin granules of Saccharomyces cerevisiae under conditions of screening with various materials // Food Bioindication and Ecology. - Zaporizhzhya: ZNU, 2010. - VIP. 15, no. 2. - P.232-244.

12. Gromozova E.N., Voichuk S.I., Kachur T.L., Gorchev V.F., Karakhim S.A. Features of the structure of volutin granules in the cells of lower polyphosphate-accumulating eukaryotes. Biotechnology T. 3 No. 4, 2010 - p. 55-61.

13. Benkova N.P., Zagulyaeva V.A., Katsishvili N.A. and others. L – variations of the geomagnetic field and ionosphere according to the data of Soviet stations. - Geomagnetism and Aeronomy, 1964, v.4, No. 3, p. 611-613.

14. Pershin S.M. The physical basis of the anomalous properties of water is the quantum differences between the ortho and para spin isomers of H2O. 2009.h2o-00029/

15. Temuryants N.A., Vladimirsky B.M., Tishkin O.G. Microwave electromagnetic signals in the biological world. K.: Naukova Dumka, 1992.- 188 p.

16. Mather Janis G. Magnetoreception and the search for magnetic material in rodents. In book. Biogenic magnetite and magnetoreception. New about biomagnetism in 2 volumes, Pod. Ed. J. Kirshvink, D. Jones, B. McFadden. M.: Mir, T.2, 1989.- p.306-339.

17. Vladimirsky B.M., Temuryants N.A. Influence of solar activity on the biosphere-noosphere / Edited by L.A. Blumenfeld and N.N. Moiseev. M: Ed. MIEPU, 2000. 374 p.

18. Bingi V.N. Magnetobiology. Experiments and models. M., Mir, Ed.2, 2002. 591 p.

19. Lednev V.V. Bioeffects of weak combined, constant and variable magnetic fields // Biophysics, 1996, Vol. 41, no. 1, p. 224-232.

20. Novikov V.V., Ponomarev V.O., Novikov G.V., Kuvichkin V.V., Fesenko E.E. Effects and molecular mechanisms of the biological action of weak and superweak magnetic fields. Biophysics, 2010, v.55, no. 4, p. 631-639.

21. Belova N.A., Panchelyuga V.A. VV Lednev's model: Theory and experiment. Biophysics, 2010, v.55, no. 4, p. 750-766.

22. Bingi V.N. Principles of electromagnetic biophysics. - M., FIZMATLIT, 2011. - 592 p.

23. Ragulskaya M.V., Gorgo Yu.P., Didyk L.A. and other Biotropic effects of space weather. Collective monograph under the general editorship of M. V. Ragulskaya. - Moscow, Kyiv, 2010, 312 p.

24. Гаркавий.К., Ярова В.В. Математична статистика: Навч. посібн. – К.: ВД “Професіонал”, 2004. – 384 с.

25. Охорона праці. Підручник./ К.Н Ткачук, М.О Халімовський та ін. – К.:Основа, 2003 –472 с.

26. Особливості функціонування біологічних об‘єктів за дії низькочастотних магнітних полів різного походження / Ю. Горго та ін. *Вісник КНУ. Проблеми регуляції фізіологічних функцій*. 2005. Т. 10. С. 28–29.

27. Gorgo Yu.P., Didyk L.A. Biological activity and importance of low-frequency atmospheric pressure fluctuations // Biotrope influence of space weather. Monogr. Red. M.V. Ragulskaya. - M.- Kyiv, 2010 - P. 259 -289 (in russian).

28. Vladimirskiy B. M., Temuryants N. A., Tumanyants K. N., Chuyan E. N. Substantiation possibilities of defence of biological objects from variations of space weather // Space and Time. — 2017. — № 2-3-4(28-29-30). — p. 301—308. (in russian).

29. Chigevskiy A.L. Earthly echo of sun storms. M.: Thought 1976. - 367 p. (in russian).

30. Hvozdara M. Our Earth – stable and variable. VEDA, Bratislava, 2012, p. 260 (in slovak).

31. Frohlich H. The biological effects of microwaves and related questions.// Adv. in Electronics and Electron Physics 1980, V. 53, p. 85-152.

32. Habarova O.V. Bioeffective frequencies and their communication with own frequencies of living organisms // Biomedical technologies and radio electronics. 2002, №5, p. 56-66 (in russian).

33. Gorgo Yu.P., Miroshnik T.G., Didyk L.O., Zaychenko O.M. Features of functioning of biological objects for actions of the low-frequency magnetic fields of a different origin // Bulletin of KNU. Problems of adjusting of physiology functions. T.10, 2005.- p. 28-29 (in ukranian).

34. Aladganova N.A. Psichophysical aspects of superslow rhythmic activity of cerebrum //- M.: Science, 1979. 214 p. (in russian).

35. Natalya A. Kilifarska, Volodymyr G. Bakhmutov, Galyna V. Melnyk. The hidden link between Earth's magnetik field and klimate. 2020, ELSEVIER Inc., 215 p.

36. Sridharan G., Shankar A.A. Toluidine blue: A review of its chemistry and clinical utility // Journal of Oral and Maxillofacial Pathology. 2012.

37. Gromozova E., Voychuk S., Grigoriev P., Vishnevsky V., Ragulskaya M. Cosmic rays as bio-regulator of deep time terrestrial ecosystems // Sun and Geosphere. – 2012. – V.7, № 2. – P. 177–120.

38. M. S. Kharchuk, E.N. Gromozova / Wastewater components effect on metachromasia reaction of volutin granules in vitro // Biotechnologia Acta. – 2017. - Vol. 10, № 6. - C. 28-34.

39. Lichko L., Kulakovskaya T., Pestov N., Kulaev I. Inorganic polyphosphates and exopolyphosphatases in cell compartments of the yeast Saccharomyces cerevisiae under inactivation of PPX1 and PPN1 genes // Biosci. Rep. - 2006. - 26. - P. 45-54.

40. Karathia H., Vilaprinyo E., Sorribas A., al vesr. Saccharomyces cerevisiae as a model organisms: a comparative study // Plos One. - 2011. - 6, №2. - P. 1-10