

**М.С. Харчук, П.Е. Григорьев, Т.Л. Качур, Е.Н. Громозова**

*Институт микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины,  
ул. Академика Заболотного, 154, Киев, 03143, Украина*

## **ОСОБЕННОСТИ ВОЛЮТИНОВЫХ ГРАНУЛ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ**

*В данной работе было исследовано влияние космической погоды на окрашивание и подвижность волютиновых гранул («dancing bodies») в вакуолярном пространстве дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* с нормальным и изменённым фосфорным обменом. Показано, что специфическое окрашивание неорганических полифосфатов волютиновых гранул в клетках *S. cerevisiae* УКМ Y-517 флуоресцентным красителем DAPI подтвердило связь между реакцией метахромазии (МТХ) волютиновых гранул и галактическими космическими лучами, установленную нами ранее. Отмечена обратная корреляция для DAPI-окраски волютиновых гранул с показателями солнечной активности. Также в период наблюдений был зафиксирован ритмический характер подвижности волютиновых гранул всех исследованных штаммов (*S. cerevisiae* УКМ Y-517, *S. cerevisiae* CRY, *S. cerevisiae* CNX). Штаммы *S. cerevisiae* УКМ Y-517 и *S. cerevisiae* CRY с неизменённым фосфорным метаболизмом имели сходную ритмику. В то же время ритмика штамма *S. cerevisiae* CNX, дефектного по экзополифосфатазам PPX1 и PPN1 (КФ 3.6.1.11), несколько отличалась от родительского штамма *S. cerevisiae* CRY. Подвижность волютиновых гранул совпадала с ритмической галактических космических лучей в периоде длительностью около 9 суток. Предполагается, что «dancing bodies» синхронизированы с ритмами галактических космических лучей. Выявленные отличия между мутантным и родительским штаммами могут косвенно указывать на участие полифосфатов в реакции клеток на изменения параметров космической погоды. Таким образом, фосфорный обмен, вероятно, играет ключевую роль в чувствительности дрожжевых клеток *S. cerevisiae* к космофизическим факторам, что проявляется в вариативности окраски и подвижности полифосфатсодержащих волютиновых гранул под воздействием этих факторов.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* дрожжи, космическая погода, волютиновые гранулы, «dancing bodies», метахромазия.

Воздействие космической погоды (комплекса переменных внешних космических факторов [12]) на организмы впервые было описано в трудах А.Л. Чижевского в связи с максимумами инфекционных заболеваний, происходящих в периоды повышенной солнечной активности (цит. по [3]). Экспериментально его выводы подтвердил С.Т. Вельховер на примере реакции метахромазии (МТХ) волютиновых гранул *Corynebacterium diphtheriae* (цит. по [3, 5]). На сегодняшний день накоплен значительный массив данных о влиянии космической погоды на биологические объекты. Основные факторы её воздействия (космофизические факторы) – это электромагнитное излучение и частицы высоких энергий (космические лучи), источником которых являются процессы, происходящие на Солнце (солнечная активность) и за пределами Солнечной системы [2]. При взаимодействии с оболочками Земли (магнитосферой и ионосферой) эти

факторы в конечном итоге преобразуются в экологически значимые изменения электромагнитного, акустического и радиационного фона околоземного пространства [2]. Источником космических лучей являются солнечные вспышки (солнечные космические лучи) и взрывы сверхновых звёзд (галактические космические лучи) [2, 12].

Многочисленные исследования влияния космической погоды на биологические объекты показали, что резонансы и ритмы биосистем согласованы с вариациями космофизических факторов на всех уровнях организации живого (цит. по [2]). Вероятно, согласование биоритмов сформировалось на начальных этапах биологической эволюции в условиях воздействия на Землю раннего Солнца и галактических космических лучей [13]. Предполагается, что в рецепции сигналов космической погоды могут принимать участие неорганические полифосфаты [3, 5] (линейные полимеры, состоящие из остатков фосфорной кислоты, связанных высокоэнергетическими фосфоангидридными связями) [9]. Полифосфаты, которые называют «ископаемыми молекулами», присутствуют как в неживой природе, так и в клетках всех живых организмов. Эти полимеры выполняют различные функции в зависимости от локализации в клетке [9]. Полифосфаты являются главными компонентами волютиновых гранул – внутриклеточных структур прокариотических и эукариотических микроорганизмов [9]. Волютиновые гранулы были открыты более века назад [9]. Тем не менее, в литературе ведётся дискуссия об их составе, структуре и функциях. Общепринято считать, что волютиновые гранулы выполняют роль внутриклеточного фосфорного депо [9]. Именно благодаря наличию полифосфатов волютиновые гранулы метакромазируют (меняют исходный цвет красителя тиазинового ряда [10]), что легло в основу цитохимической идентификации этих структур [14] и биоастрономического эффекта Чижевского-Вельховера (изменение окраски гранул за несколько дней до солнечных эмиссий) [8]. Другой особенностью вакуолярных волютиновых гранул дрожжевых клеток является их активное движение, которое получило название «dancing bodies» («танцующие тела»). Несмотря на то, что метакроматическое окрашивание и подвижность волютиновых гранул известный факт, причины, их обуславливающие, до сих пор малоизученны.

В связи с этим, целью настоящей работы было исследование влияния космофизических факторов на подвижность и окраску волютиновых гранул дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в клетках с нормальным и изменённым фосфорным обменом.

**Материалы и методы.** Объектом исследования были штаммы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*: УКМ Y-517 из Украинской коллекции микроорганизмов, CRY (родительский штамм) и CNX (мутантный штамм по генам экзополифосфатаз PPX1 и PPN1) из лаборатории Артура Корнберга (Стэнфордский университет, США) [15], любезно предоставленные сотрудниками Института биохимии и физиологии микроорганизмов РАН (г. Пущино, Россия).

Дрожжи культивировали в термостате при 28 °С на агаризованном солодовом сусле в течение суток. При пересеве культуры на свежую питательную среду делали мазок клеток на предметном стекле, который после высыхания фиксировали жаром и окрашивали метиленовым синим по

Лёффлеру [11]. Наличие метахроматической окраски волютиновых гранул оценивали визуально, используя световую микроскопию (микроскоп “Prima Star”, Zeiss). Результаты фиксировали в следующей кодировке: «1» – отсутствие метахромазии, «2» и «3» – различная степень выраженности метахромазии [3]. Объективность данной кодировки была подтверждена компьютерной обработкой изображений окрашенных волютиновых гранул [5].

Подвижность волютиновых гранул («dancing bodies») оценивали с помощью люминесцентной микроскопии (МБИ 15, ЛОМО, Россия) с применением витального флуоресцентного красителя 4,6'-диамидино-2-фенилиндол дигидрохлорида (DAPI, Sigma, USA) в конечной концентрации 5 мг/л. Отбор проб проводили одновременно с приготовлением мазка для реакции метахромазии. Учитывали только те клетки, в которых были видны флуоресцирующие гранулы. Показатель «dancing bodies» выражали в процентах. Наблюдения проводили ежедневно в стандартных лабораторных условиях (77 суток).

Для выявления связи метахромазии, DAPI-окрашивания и подвижности волютиновых гранул с вариациями показателей космофизических факторов использовали суточные ряды  $F_{10.7}$ -индекса солнечной активности (поток солнечного радиоизлучения на волне 10,7 см с частотой 2800 МГц) и интенсивности галактических космических лучей, представленных на сайтах Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН): <http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm> и <http://izmiran.ru/services/saf/archive/> соответственно. Прогностический потенциал исследованных переменных определяли методом кросс-корреляционного анализа с помощью программы Statistica 10.0 (Statsoft. Inc., 2011). Максимальный прогностический потенциал оценивали при сдвиге в 15 суток до момента оцениваемого события и за 15 суток после него.

Ритмический характер в показателях космической погоды и подвижных волютиновых гранул устанавливали с помощью косинор-анализа [7] в модификации В.С. Мартынюка и П.Е. Григорьева [1], который позволяет выявлять ритмы во временных рядах даже небольшой длительности, в отличие от спектрального Фурье-анализа. В периодограммах выделяли периоды, выраженность которых превышала верхнюю границу 95 %-го доверительного интервала.

**Результаты и их обсуждение.** Проведенный кросс-корреляционный анализ динамики DAPI-окраски с основными космофизическими факторами показал наличие связи между DAPI-окрашиванием полифосфат-содержащих структур и галактическими космическими лучами (рис. 1). Максимум абсолютных значений кросс-корреляционной функции отмечался за 4 суток до изменения интенсивности галактических космических лучей ( $r = -0,58$ ,  $p = 0,05$ ). В то же время была отмечена обратная кросс-корреляционная связь DAPI-окрашивания волютиновых гранул дрожжей с солнечной активностью (поток солнечного радиоизлучения на длине волны 10,7 см) (рис. 2). Максимум абсолютных значений кросс-корреляционной функции отмечался за 7 суток до изменения солнечной активности ( $r = +0,34$ ,  $p = 0,05$ ). Эти данные подтвердили полученные нами ранее результаты проявления реакции метахромазии волютиновых

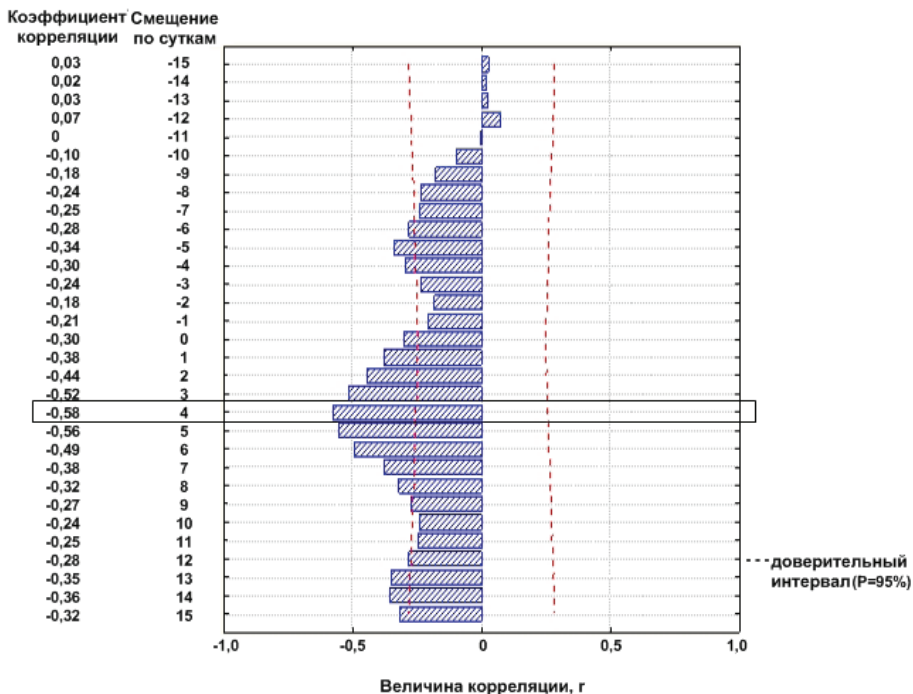
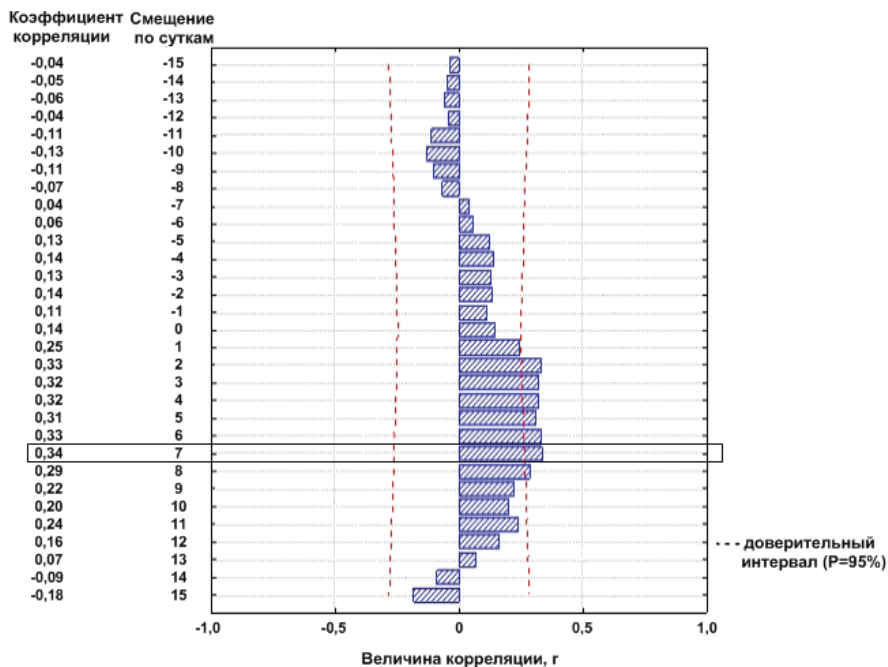


Рис. 1. Кросс-корреляционный анализ связи показателя специфического окрашивания неорганических полифосфатов красителем DAPI с галактическими космическими лучами для штамма *S. cerevisiae* УКМ Y-517

гранул *S. cerevisiae* УКМ Y-517 в условиях изменения показателей космической погоды [3, 5, 13]. Интересно отметить, что в отличие от метахроматического окрашивания интенсивность DAPI-окрашивания волютиновых гранул изменяется за несколько суток до появления изменений в показателях интенсивности галактических космических лучей. Вариации солнечной активности имеют более продолжительный и пологий тренд изменений, что обуславливает растянутый максимум кросс-корреляционной функции, опережающий показатели солнечной активности на 7–2 суток (рис. 2). Учитывая выраженную корреляцию DAPI-окрашивания с галактическими космическими лучами, предполагается, что именно высокоэнергетические частицы этих лучей являются основными действующими агентами влияния на реакцию метахромазии [5] и интенсивность DAPI-окрашивания волютиновых гранул.

Аналогичные исследования были проведены для штаммов *S. cerevisiae* CRY и *S. cerevisiae* CNX. Было установлено, что у этих штаммов кросс-корреляционная связь между DAPI-окрашиванием волютиновых гранул и изменением показателей интенсивности галактических космических лучей более выражена (рис. 3А-Б), чем у *S. cerevisiae* УКМ Y-517 (рис. 1). Максимумы абсолютных значений кросс-корреляционной функции отмечены во время изменения показателей галактических космических лучей штамма *S. cerevisiae* CRY ( $r = -0,60$ ,  $p = 0,05$ ) (рис. 3А) и штамма *S. cerevisiae* CNX – за 10 суток до изменения показателей галактических космических лучей ( $r = -0,59$ ,  $p = 0,05$ ) (рис. 3Б).

Основываясь на полученных результатах, мы предполагаем, что в данном случае речь идёт о сопряжении ритмики, когда система испытывает



**Рис. 2.** Кросс-корреляционный анализ связи показателя специфического окрашивания неорганических полифосфатов красителем DAPI с солнечной активностью для штамма *S. cerevisiae* УКМ Y-517

колебания, синхронизированные с внешними факторами. Возможно, что эта связь не имеет прямого характера типа «стимул-реакция», а отображает лишь синхронизацию биологических процессов с космофизической ритмикой. Наблюдаемое совпадение ритмики определяется внутренними свойствами и потребностями биологической системы. Это позволяет предположить использование клетками дрожжей вариаций в галактических космических лучах для синхронизации внутриклеточных процессов. Увеличение сдвига оцениваемого события на 10 суток (рис. 3Б) является, по нашему мнению, слишком большим для быстротекущих процессов, чтобы предположить причинно-следственную связь. Четырёхсуточный сдвиг максимума кросс-корреляционной функции (рис. 1) вполне допустим для причинно-обусловленных связей реакции биосистемы на градиент изменений параметров космической погоды. Когда биологическая система испытывает синхронизированные с внешними факторами среды колебания, то сдвиг фаз ритмики увеличивается. Уменьшение сдвига максимума кросс-корреляционной функции даёт возможность рассматривать наличие причинно-следственной связи, как опережающей на градиент изменений физических параметров.

Было установлено, что явление «dancing bodies» имеет выраженную ритмику (рис. 4Б-Г) (набор динамически изменяющихся по величине и длине периодов). С помощью косинор-анализа были выявлены наиболее устойчивые, мощные и долгоживущие периоды ритмики подвижности волютиновых гранул. Этот метод позволяет «просканировать» все ритмы без лагун в заданной области в отличие от других классических методов (например, Фурье-анализа), что делает оценку о наличии того или иного ритма более обоснованной. Показано, что ритмика

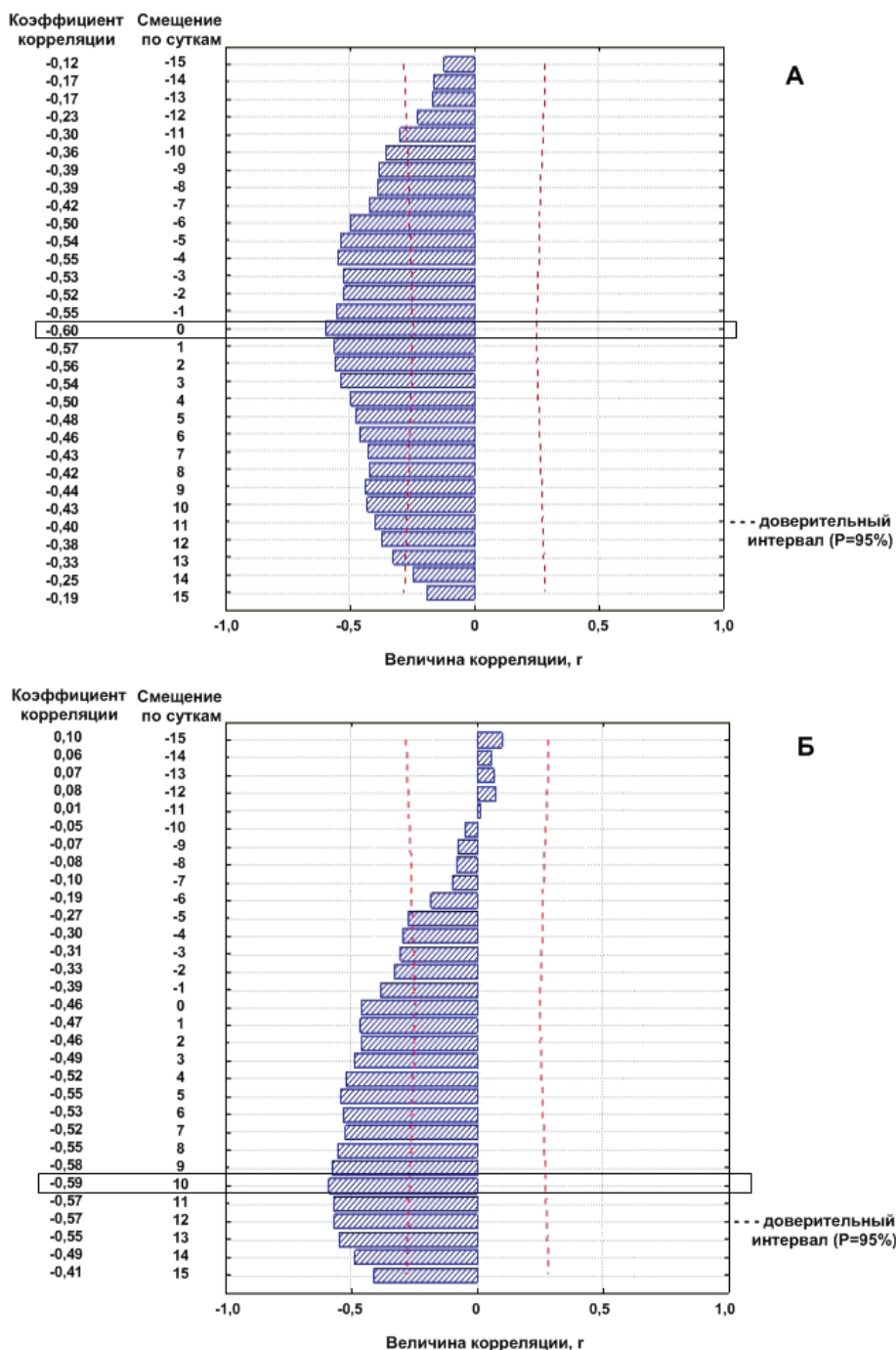
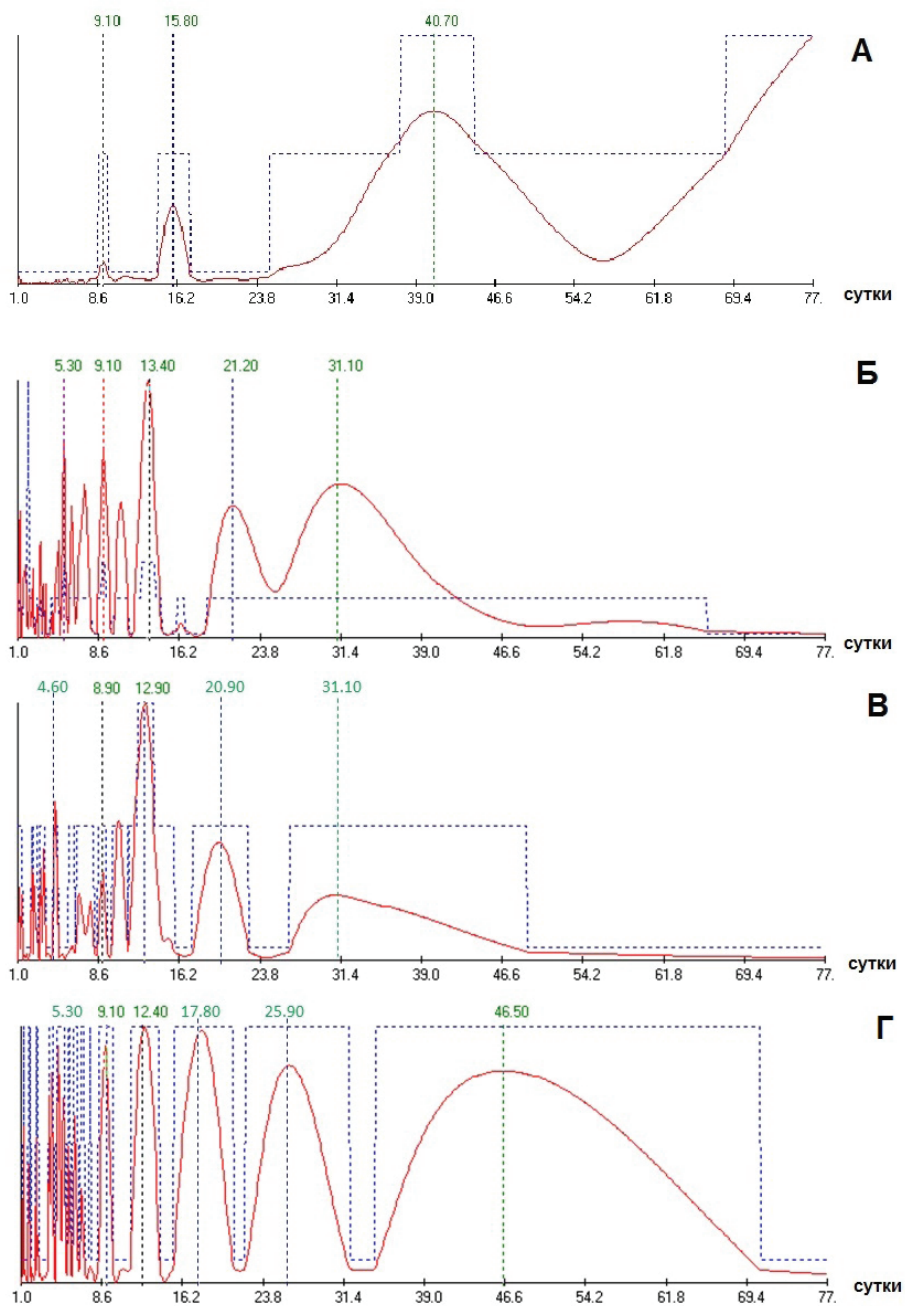


Рис. 3. Кросс-корреляционный анализ связи показателя специфического окрашивания неорганических полифосфатов красителем DAPI с галактическими космическими лучами для штаммов *S. cerevisiae*: А) CRY; Б) CNX

подвижных волютиновых гранул у штаммов с неизменённым фосфорным метаболизмом *S. cerevisiae* УКМ Y-517 и *S. cerevisiae* CRY была схожей (рис. 4Б-В), а у штамма *S. cerevisiae* CNX, дефектного по генам *ppx1* и *ppn1*, наблюдались отличия в ритмике в сравнении с родительским штаммом (рис. 4Г). Отмечается наличие у всех штаммов периода в точности к высокоамплитудному периоду 9,1 суток в галактических космических



**Рис. 4.** Ритмика галактических космических лучей (отмечены основные периоды) (А) и ритмики «dancing bodies» у штаммов *S. cerevisiae*: УКМ Y-517 (Б); CRY (В); CNX (Г)

лучах (рис. 4). Возможно, подвижность волутиновых гранул синхронизирована с ритмами этого космофизического фактора.

В проведенных исследованиях не было обнаружено кросс-корреляционной связи между подвижными волутиновыми гранулами и галактическими космическими лучами для всех исследуемых штаммов.

При проведении кросс-корреляционного анализа между показателями явления «dancing bodies» и метакроматическим окрашиванием клеток

дрожжей *S. cerevisiae* УКМ Y-517 было выявлено, что увеличение количества клеток с подвижными волютиновыми гранулами проявляется на 4 суток ранее, чем появление метакроматической окраски волютиновых гранул ( $r = +0,40$ ,  $p = 0,05$ ) (рис. 5). Подобной закономерности у штаммов *S. cerevisiae* CRY и *S. cerevisiae* CNX не было обнаружено.

Учитывая возможную роль полифосфатов в рецепции космических сигналов [3, 5, 13], предполагается, что изменение количественного содержания и структуры этих полимеров может определять степень ответной реакции клеток микроорганизмов на изменения космической погоды. Характер корреляционной связи DAPI-окрашивания волютиновых гранул с галактическими космическими лучами у мутантного штамма *S. cerevisiae* CNX, дефектного по экзополифосфатазам PPH1 и PPN1, отличался от родительского штамма. Однако корреляционная связь DAPI-окрашивания с вариациями галактических космических лучей отличалась и у штаммов *S. cerevisiae* CRY и *S. cerevisiae* УКМ Y-517, не имеющих дефектов в фосфорном метаболизме. Следует отметить, что эти штаммы имели качественные и количественные различия в составе внутриклеточных полифосфатов [6]. Таким образом, полученные данные могут быть косвенным доказательством участия фосфорного обмена в реакции дрожжевых клеток на градиент изменений параметров космической погоды.

Известно, что биоастрономический эффект Чижевского-Вельховера основывается на реакции метакроматизации волютиновых гранул коринебактерий, предшествующей солнечным эмиссиям [8]. Этот факт свидетельствует о связи космофизических факторов с биологическими процессами и возможной индикаторной роли этого показателя [3, 5, 13]. Ранее в наших работах были отмечены схожие закономерности проявления реакции метакроматизации волютиновых гранул дрожжей *S. cerevisiae* в

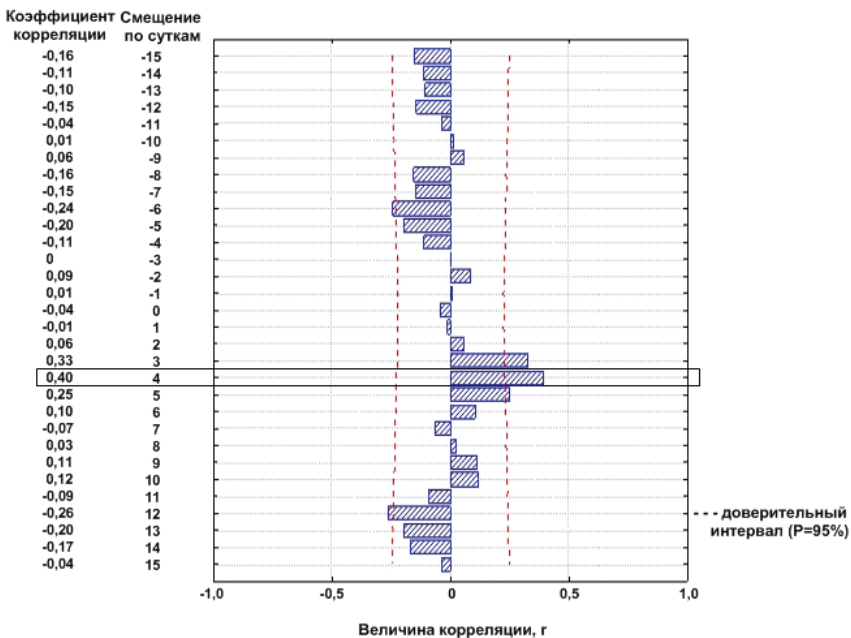


Рис. 5. Кросс-корреляционный анализ связи показателя «dancing bodies» с реакцией метакроматизации для штамма *S. cerevisiae* УКМ-517



условиях изменения космической погоды [3, 5, 13]. Эти результаты были подтверждены в настоящей работе на примере специфического окрашивания волютиновых гранул дрожжевых клеток *S. cerevisiae* флуоресцентным красителем DAPI. Это свидетельствует о возможной роли полифосфатов в проявлении биологических эффектов под воздействием космофизических факторов. Хотя непосредственной корреляции подвижности волютиновых гранул с космической погодой не было выявлено в период исследований, была обнаружена ритмичность данного явления. Интересно отметить, что явление «dancing bodies» имело совпадение с ритмикой галактических космических лучей в периоде около 9 суток. Предполагается, что подвижность волютиновых гранул может быть синхронизированной с космическими факторами. Выявленные отличия в показателях корреляционной связи DAPI-окрашивания с галактическими космическими лучами и ритмики явления «dancing bodies» между мутантным штаммом, дефектным по экзополифосфатазам PPH1 и PPN1, и родительским штаммом косвенно указывают на участие полифосфатов в реакции клеток на изменения параметров космической погоды. Таким образом, фосфорный обмен, вероятно, играет ключевую роль в чувствительности дрожжевых клеток *S. cerevisiae* к космофизическим факторам, что проявляется в вариативности окраски и подвижности полифосфатсодержащих волютиновых гранул под воздействием этих факторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта НАН Украины «Роль нормальных и экстремальных гелиогеофизических процессов в эволюции биосферы» (36-02-14).

**М.С. Харчук, П.Є. Григор'єв, Т.Л. Качур, О.М. Громозова**

*Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ,  
вул. Академіка Заболотного, 154, Київ, 03143, Україна*

## **ОСОБЛИВОСТІ ВОЛЮТИНОВИХ ГРАНУЛ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В УМОВАХ ЗМІНИ КОСМІЧНОЇ ПОГОДИ**

### **Резюме**

В даній роботі було досліджено вплив космічної погоди на забарвлення і рухливість волютинових гранул («dancing bodies») у вакуолярному просторі дріжджових клітин *Saccharomyces cerevisiae* з нормальним і зміненим фосфорним обміном. Показано, що специфічне зафарбовування неорганічних поліфосфатів волютинових гранул у клітинах *S. cerevisiae* УКМ Y-517 флуоресцентним барвником DAPI підтвердило зв'язок між реакцією метахромазії волютинових гранул і галактичними космічними променями, встановлений нами раніше. Відмічена обернена кореляція для DAPI-забарвлення волютинових гранул з показниками сонячної активності. Також у період спостережень було зафіксовано ритмічний характер рухливості волютинових гранул усіх досліджуваних штамів (*S. cerevisiae* УКМ Y-517, *S. cerevisiae* CRY, *S. cerevisiae* CNX). Штами *S. cerevisiae* УКМ Y-517 і *S. cerevisiae* CRY з незміненим фосфорним метаболізмом мали подібну ритміку. У той же час, ритміка штаму *S. cerevisiae* CNX, дефектного за екзополифосфатазами PPH1 і PPN1 (КФ 3.6.1.11), дещо відрізнялась від батьківського штаму *S. cerevisiae* CRY. Рухливість волютинових гранул співпадала з ритмікою галактичних космічних променів у

періоді тривалістю близько 9 діб. Припускається, що «dancing bodies» синхронізовані з ритмами галактичних космічних променів. Виявлені відмінності між мутантним і батьківським штамами можуть опосередковано вказувати на участь поліфосфатів у реакції клітин на зміну параметрів космічної погоди. Таким чином, фосфорний обмін, ймовірно, відіграє ключову роль у чутливості дріжджових клітин *S. cerevisiae* до космофізичних факторів, що проявляється у варіативності забарвлення і рухливості поліфосфатвмістних волютинових гранул під дією цих факторів.

*Ключові слова:* дріжджі, космічна погода, волютинові гранули, «dancing bodies», метахромазія.

***M.S. Kharchuk, P.E. Grigoriev, T.L. Kachur, E.N. Gromozova***

*Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, NAS of Ukraine,  
154 Acad. Zabolotny St., Kyiv, 03143, Ukraine*

### **PROPERTIES OF SACCHAROMYCES CEREVISIAE VOLUTIN GRANULES UNDER CONDITIONS OF THE CHANGE OF SPACE WEATHER**

#### **Summary**

In this work, the impact of space weather on the staining and the motility of volutin granules (“dancing bodies”) in vacuoles of yeast *Saccharomyces cerevisiae* with normal and changed phosphoric metabolism was studied. It was showed that the installed earlier relation between metachromatic reaction of volutin granules and galactic cosmic rays was confirmed by DAPI-staining of inorganic polyphosphates in cells *S. cerevisiae* UCM Y-517. The inverse correlation of efficiency of DAPI-staining of volutin granules with some solar activity indexes was observed. During the period of study, the rhythmicity of motile volutin granules in the studied cultures (*S. cerevisiae* UCM Y-517, *S. cerevisiae* CRY, *S. cerevisiae* CNX) was marked. The strains *S. cerevisiae* UCM Y-517 and CRY, both with unmodified phosphoric metabolism, showed the same rhythmicity of mobile volutin granules. However, this rhythmicity in the strain CNX, which cannot synthesize exopolyphosphatases PPX1 and PPN1 (CF 3.6.1.11), was changed. The volutin granule motion coincided with the rhythmicity of galactic cosmic rays within the period of 9 days. It can be suggested that “dancing bodies” are synchronized with rhythms of galactic cosmic rays. Observed differences between mutant and parental strains may indirectly indicate participation of polyphosphates in the reaction of cells on the changes of space weather parameters. Thus, correlating variability of staining and motion of polyphosphate-containing volutin granules under action of cosmophysical factors may be an evidence of possible key role of phosphoric metabolism in sensitivity of yeast cells to space weather changes.

*Key words:* yeasts, cosmic rays, volutin granules, “dancing bodies”, metachromasy.

1. Григорьев П.Е. Связь инфрадиальной ритмики физиологических процессов у животных с вариациями гелиогеофизических факторов: Дис. канд. биол. наук. – Симферополь, 2005. – 146 с.
2. Григорьев П.Е., Хорсева Н.И., Поскотинова Л.В., Килесса Г.В. Исследования воздействий космофизических факторов на процессы в живых системах // Космос и жизнь: единство и многообразие. Коллективная монография под ред. Григорьева П.Е., Сулейманова И.Э. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2010. – С. 5–31.

3. Громозова Е.Н., Григорьев П.Е. Микроб и космос // Космос и жизнь: единство и многообразие. Коллективная монография под ред. Григорьева П.Е., Сулейманова И.Э. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2010. – С. 32–46.
4. Громозова Е.Н., Григорьев П.Е., Качур Т.Л., Войчук С.И. Влияние космофизических факторов на реакцию метахромазии воллотиновых гранул *Saccharomyces cerevisiae* // Биофизические процессы и биосфера. – 2010. – 9, № 2. – С. 67–76.
5. Громозова Е.Н., Сычёв А.С. Микробиологические аспекты проекта «Гелиомед»: метод, количественная оценка и результаты // Биотропное воздействие космической погоды. – М., Киев: ВВМ, 2010. – С. 127–145.
6. Громозова Е.Н., Качур Т.Л., Войчук С.И., Рязанова Л.П., Кулаковская Т.В. Новые аспекты плейотропного действия генов, кодирующих экзополифосфатазы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Микроб. Журнал. – 2012. – 74, № 5. – С. 26–31.
7. Емельянов И.П. Структура биологических ритмов человека в процессе адаптации. Статистический анализ и моделирование. – Новосибирск: Наука, 1986. – 184 с.
8. Краткий справочник по космической биологии и медицине. – Москва: Медицина, 1967. – 296 с.
9. Кулаев И.С., Вагабов В.М., Кулаковская Т.В. Высокомолекулярные неорганические полифосфаты: биохимия, клеточная биология, биотехнология. – М.: Научный мир, 2005. – 215 с.
10. Пирс Э. Гистохимия: теоретическая и прикладная. – Москва: Изд-во ин. лит., 1962. – 962 с.
11. Практикум по микробиологии: Учебное пособие / Под ред. Егорова Н.С. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 307 с.
12. Солнечно-земные связи и космическая погода / Под ред. А.А. Петруковича // Плазменная гелиофизика, Том 2. Под ред. Л.М. Зелёного, И.С. Веселовского. – М.: Физматлит, 2008. – С. 175–257.
13. 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.
14. Serafim L.S., Lemos P.C., Levantesi C., Tandoi V., Santos H., Reis M.A.M. Methods for detection and visualization of intracellular polymers stored by polyphosphate-accumulating microorganisms // Journal of Microbiological Methods. – 2002. – 51. – P. 1–18.
15. Sethuraman A., Rao N.N., Kornberg A. The endopolyphosphatase gene: essential in *Saccharomyces cerevisiae* // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2001. – 98. – P. 8542–8547.

Отримано 11.03.2016