

УДК 577.3.04

Л.В. Маринченко, О.І. Ніжельська, В.О. Маринченко

СТИМУЛЯЦІЯ НАКОПИЧЕННЯ БІОМАСИ ТА БРОДИЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ КУЛЬТУРИ ДРІЖДЖІВ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* ЗА ДОПОМОГОЮ НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

The optimum irradiation parameters of EHF EMR for *Saccharomyces cerevisiae* M-09 yeast culture are experimentally determined. In the alcoholic brew, fermented with the irradiated yeast, the accumulation of biomass, alcohol and the amount of carbon dioxide emissions increased compared to control. Simultaneously the amount of nonfermented sugars decreased. The yeast vigor for the filtered brew yeast, their α -glucosidase and zymase activity enhanced. The effect of the EHF EMR action on the yeast culture remained for three generations and gradually weakened, which can be connected with *Saccharomyces cerevisiae* adaptation to the influence of external factors.

Вступ

Електромагнітне випромінювання надвисокої частоти (ЕМВ НВЧ) та міліметрове випромінювання (що відповідає частотам 30–300 ГГц) з щільністю потужності меншою за тепловий фон (10 мВт/см^2) належать до слабких чинників довкілля. Його вплив на живі клітини не має однозначного підтвердження та пояснення [1–3]. Однак є ціла низка праць, в яких встановлено ефект впливу такого опромінення на мікроорганізми [4–6], зокрема на хлібопекарські дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* [7–10].

Електромагнітні біотехнології, що інтенсивно розвиваються, ставлять за мету більш ефективне використання мікроорганізмами поживних речовин, прискорення процесів метаболізму, отримання продуктів з новими властивостями, а також знищення патогенних бактерій. В технології спирту та хлібопекарських дріжджів також вивчали можливість застосування фізичних методів для інтенсифікації біотехнологічних процесів [11, 12].

Постановка задачі

Нашими попередніми дослідженнями було встановлено, що дія ЕМВ НВЧ нетеплової інтенсивності на дріжджі *S. cerevisiae* раси XII, LK може досить істотно впливати на їх ріст [13–16]. Цікаво також, що від частоти ЕМВ залежить прискорення або пригнічення росту й активності дріжджів. На ефект від дії ЕМВ НВЧ впливають такі фактори, як раса дріжджів, ступінь синхронізації культури, фаза клітинного циклу, температура, спосіб культивування та склад живильного середовища, тривалість опромінювання, гео-

магнітний фон тощо. Таким чином, враховуючи лабільність живих систем і комплексність впливу різних факторів, доцільно говорити про смугу частот ЕМВ НВЧ, дія яких спричиняє цей ефект.

Для часткового нівелювання зазначених “шумів” застосовували деякі прийоми, описані в [15], зокрема, обробці ЕМВ НВЧ піддавали засівні дріжджі.

Метою роботи є дослідження дії електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону нетеплової інтенсивності на генеративну здатність, бродильну активність і хлібопекарські якості культури дріжджів *S. cerevisiae* M-09 залежно від частоти та тривалості дії електромагнітного випромінювання.

Експериментальні методи

Дослідження проводили в лабораторних умовах з використанням культури дріжджів *S. cerevisiae* раси M-09, що має високу генеративну здатність, осмофільність, тобто резистентність до високої концентрації сухих речовин (СР) в середовищі (24–26 % СР) та термостійкість.

Для приготування зразків для опромінення чисті культури досліджуваних дріжджів з косяку пересівали в пробірку зі стерильним сушлом концентрацією 9–10 % СР та зброджували його протягом 24 год за температури $+30 \text{ }^\circ\text{C}$. Після цього вміст пробірки стерильно переносили в колбу, яка містить 250 мл стерильного м'ясного сушла концентрацією 23 % СР і зброджували протягом 24 год, після чого бражку відфільтровували, а дріжджі опромінювали та використовували для зброджування сушла.

Опромінювання засівних дріжджів проводили в конічних колбах на 100 см^3 . Об'єм зразків становив 0,5 г дріжджів в 5 см^3 стерильної

води. До початку опромінення суспензію дріжджових клітин охолоджували у термостаті за $t = +4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Контрольні зразки суспензії опроміненню не піддавали.

Джерелом лінійно поляризованого ЕМВ НВЧ слугував генератор (1) Г4-141 (рисунок) з робочим діапазоном частот 37–53 ГГц. Випромінювання через хвилевід (2) за допомогою рупора (3) подавалось на дно колби (4) з дріжджовою суспензією (5). Дріжджі осідали на дно рівним шаром. Розрахункова щільність потужності становила $0,07\text{ мВт/см}^2$. Для кожного зразка встановлювали частоту ЕМВ НВЧ і час опромінювання.

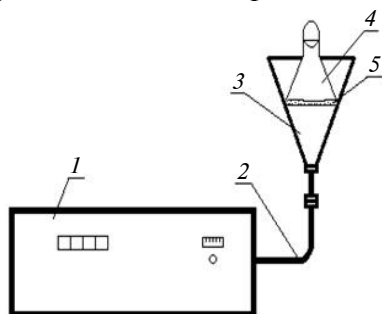


Схема установки для опромінювання суспензії дріжджових клітин

Опроміненими та контрольними зразками засівних дріжджів сусло зброджували методом “бродильної проби” в конічних колбах із сірчаноокислотними затворами у термостаті за температури $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Мелясне сусло зброджували протягом 72 год. Початкова концентрація поживних речовин (цукрів) у середовищі становила 23 % СР. Динаміку виділення двоокису вуглецю контролювали ваговим методом [17].

У зрілій бражці визначали вміст етанолу рефрактометричним методом, незброджених цукрів – фотоелектроколориметричним методом з резорциновим реактивом [18]. Концентрацію біомаси дріжджів визначали у відфільтрованих дріжджах ваговим методом [17].

Загальну кількість дріжджових клітин і вміст мертвих клітин в 1 мл середовища визначали методом прямого підрахунку в камері Горяєва [19].

Для дослідження зберігання ефекту набутих властивостей від опромінення в наступних генераціях відфільтровані з дозрілої бражки дріжджі засівали в колби зі свіжим мелясним суслим концентрацією 23 % СР, зброджували за температури $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 72 год та проводили аналізи.

Показники якості хлібопекарських дріжджів визначали після їх виділення фільтруванням на вакуумному насосі з дозрілої бражки. Підйомну силу визначали за часом спливання кульки тіста (метод А.І. Островського), α -глюкозидазну і зимазну активності – за допомогою мікрогазоміра системи І.К. Єсцького складувної роботи [17].

Результати й обговорення

Попередніми дослідженнями, проведеними нами, було визначено смугу частот ЕМВ НВЧ поблизу 41,75–41,79 ГГц, опромінення якими засівних дріжджів приводило до стимулювання росту дріжджових культур *S. cerevisiae*, а також найкращий час опромінення – 8–10 хв [13–16]. Зазначимо, що наявність ефекту визначали за кількістю дріжджових клітин у бражці, підрахованих після відповідного розбавлення у камері Горяєва. Для раси дріжджів *S. cerevisiae* М-09 також вибрали для досліджень характерну ділянку спектра НВЧ – діапазон від 41,75 до 41,79 ГГц і тривалість опромінення – 10 хв.

У табл. 1 наведено техніко-хімічні показники зрілої бражки, які характеризують активність (кількість діоксиду вуглецю, що виділився) та ефективність зброджування сусла (вміст етанолу й незброджених вуглеводів у бражці).

Таблиця 1. Техніко-хімічні показники зрілої бражки, збродженої опроміненими засівними дріжджами

Частота, ГГц	Кількість виділеного діоксиду вуглецю		Вміст у бражці				
			Біомаси		Етанолу, % об.	Незброджених вуглеводів	
	г	Зміни відносно контролю, %	г/дм ³	Зміни відносно контролю, %		г/100 см ³	Зміни відносно контролю, %
Контроль	13,62 ± 0,03	–	13,8 ± 0,1	–	8,94 ± 0,05	0,27 ± 0,01	–
41,75	13,90 ± 0,03	2,1	15,9 ± 0,1	15,2	8,97 ± 0,05	0,25 ± 0,01	–7,4
41,76	14,68 ± 0,03	7,8	17,0 ± 0,1	23,2	9,10 ± 0,05	0,22 ± 0,01	–18,5
41,78	13,79 ± 0,03	1,3	16,1 ± 0,1	16,7	8,91 ± 0,05	0,23 ± 0,01	–14,8
41,79	13,48 ± 0,03	–1,0	15,2 ± 0,2	10,1	–	0,29 ± 0,01	+7,4

З табл. 1 видно, що частотою, дія якої мала найбільший позитивний вплив на дріжджі, є 41,76 ГГц. Опромінення нею засівних дріжджів приводило до збільшення концентрації біомаси в зрілій бражці на 23,2 % порівняно з контролем. У цій самій серії дослідів було відзначено найбільше накопичення етилового спирту – 9,1 % об. та найменшу кількість незброджених вуглеводів – на 18,52 % менше порівняно з контролем (цей показник свідчить про повноту використання субстрату). Інтенсивність збродження суслу, що характеризується кількістю виділеного діоксиду вуглецю, також була більшою на 7,78 % від контролю у разі використання дріжджів, опромінених на частоті 41,76 ГГц.

У цьому ж експерименті дослідили залежність генеративної здатності та бродильної активності дріжджів *S. cerevisiae* від тривалості дії ЕМВ НВЧ. Результати дослідів для стимулюючої частоти 41,76 ГГц наведено в табл. 2.

Як видно з результатів, оптимальна тривалість дії ЕМВ НВЧ становила близько 10 хв, що також узгоджується з попередніми дослідженнями. За такої тривалості опромінення спостерігався найкращий позитивний ефект від активування засівних дріжджів НВЧ-хвилями. Збільшення часу дії ЕМВ НВЧ до 15–20 хв призводило навіть до зменшення накопичення спирту та виділення діоксиду вуглецю, хоча показники накопичення біомаси і кількість незброджених вуглеводів були кращі, ніж у контролі. Це дає підстави стверджувати, що довготривала дія опромінення на засівні дріжджі навіть стимулюючою частотою може пригнічувати життєдіяльність дріжджової клітини.

Також дослідили зміни набутих властивостей у наступних генераціях опромінених дріжджів у разі їх подальшого використання як засівних. З отриманої бражки вилучали дріжджі та проводили збродження таким самим чином ще три рази. Результати досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 2. Залежність показників якості зрілої бражки від тривалості дії ЕМВ частотою 41,76 ГГц

Тривалість опромінення, хв	Кількість виділеного діоксиду вуглецю		Вміст у бражці				
			Біомаси		Етанолу, % об.	Незброджених вуглеводів	
	г	Зміни відносно контролю, %	г/дм ³	Зміни відносно контролю, %		г/100 см ³	Зміни відносно контролю, %
Контроль	13,62 ± 0,03	–	13,8 ± 0,1	–	8,94 ± 0,05	0,27 ± 0,01	–
5	13,14 ± 0,04	–3,52	16,0 ± 0,1	+15,94	8,95 ± 0,05	0,22 ± 0,01	–18,52
10	14,68 ± 0,03	+7,78	17,0 ± 0,1	+23,19	9,10 ± 0,05	0,22 ± 0,01	–18,52
15	13,44 ± 0,04	–1,32	16,4 ± 0,1	+18,84	8,91 ± 0,05	0,23 ± 0,01	–14,81
20	13,43 ± 0,03	–1,40	15,6 ± 0,1	+13,04	8,93 ± 0,05	0,20 ± 0,01	–25,93

Таблиця 3. Техніко-хімічні показники зрілої бражки чотирьох генерацій у разі однократного опромінення засівних дріжджів (41,76 ГГц; 10 хв)

Дріжджі	Кількість виділеного діоксиду вуглецю, г	Вміст у бражці			
		біомаси, г/дм ³	етанолу, % об.	незброджених вуглеводів, г/100 см ³	мертвих дріжджових клітин, %
Перша генерація дріжджів					
Опромінені	13,57 ± 0,04	16,8 ± 0,1	8,80 ± 0,05	0,23 ± 0,01	2,6
Контроль	13,51 ± 0,03	14,1 ± 0,1	8,78 ± 0,05	0,23 ± 0,01	5,8
Друга генерація дріжджів					
Опромінені	14,58 ± 0,04	17,7 ± 0,1	8,39 ± 0,05	0,26 ± 0,01	0,8
Контроль	14,34 ± 0,03	16,6 ± 0,1	8,36 ± 0,05	0,23 ± 0,01	4,3
Третя генерація дріжджів					
Опромінені	13,37 ± 0,04	17,1 ± 0,1	8,18 ± 0,05	0,29 ± 0,01	3,1
Контроль	13,18 ± 0,04	16,7 ± 0,1	8,15 ± 0,05	0,28 ± 0,01	5,5
Четверта генерація дріжджів					
Опромінені	13,87 ± 0,05	20,4 ± 0,1	8,73 ± 0,05	0,22 ± 0,01	3,6
Контроль	13,78 ± 0,05	21,0 ± 0,1	8,83 ± 0,05	0,22 ± 0,01	3,6

Як видно з табл. 3, набуті дріжджами властивості (накопичення біомаси й спирту) зберігались до третьої генерації включно, хоча кількість незброджених вуглеводів у бражці опроміненних засівних дріжджів з кожною наступною генерацією збільшувалась і вже у другій генерації перевищувала контроль, але цей показник не виходив за межі нормативу. Це може свідчити про зміну метаболічних шляхів і потребує подальших досліджень. У четвертій генерації зброджування сула спостерігалось менше накопичення біомаси опроміненних дріжджів – 20,4 г/дм³ порівняно з контролем – 21 г/дм³ і менше накопичення спирту в бражці, тобто виявлено “виродження” стимулюючого ефекту від дії ЕМВ НВЧ і навіть пригнічення росту клітин.

Досліджували також вплив ЕМВ НВЧ на показники якості хлібопекарських дріжджів. Пресовані дріжджі являють собою дріжджову масу клітин з концентрацією вологи не більше 75 %. Дослідження проводили на дріжджах, виділених фільтруванням на вакуумному насосі з дозрілої бражки, отриманої після зброджування дріжджами, опроміненними на активній частоті (41,76 ГГц, тривалість 10 хв). Визначали такі показники якості хлібопекарських дріжджів: підйомну силу, зимазну та α -глюкозидазну активності (табл. 4).

Таблиця 4. Показники якості хлібопекарських дріжджів

Дріжджі	Підйомна сила, хв	α -глюкозидазна активність, хв	Зимазна активність, хв
Опромінені	56	121	37
Контроль	62	130	41

Під підйомною силою дріжджів розуміють їх здатність розрихлювати та піднімати тісто: чим швидше дріжджі піднімають тісто, тим краща їхня якість. α -глюкозидазна і зимазна активність – це час, необхідний для виділення 10 см³ діоксиду вуглецю при зброджуванні 5 %-го розчину цукру пресованими дріжджами, які додані в кількості 2,5 % відносно об'єму цукру. У визначенні α -глюкозидазної активності використовують розчин мальтози, зимазної активності – розчин глюкози або цукрози.

Як видно з табл. 4, показники якості хлібопекарських дріжджів, що були опромінені, кращі, ніж показники якості контролю (неопроміненних дріжджів). Зокрема, підйомна сила опроміненних дріжджів на 9,68 % краща, ніж у контрольних, α -глюкозидазна активність – на 6,92 %, зимазна активність – на 9,76 %.

В одноклітинних найпростіших організмів апоптоз (загибель клітин) стимулюється стресовими впливами, які потенційно небезпечні для геному, тобто для популяції загалом [1]. Експериментальні дослідження життєздатності клітин і рівня апоптозу в умовах сумісного впливу радіації та ЕМВ НВЧ свідчать про нормалізуючі властивості НВЧ на ферменти енергетичного обміну в мітохондріях та, відповідно, про зменшення рівня апоптозу в культурах клітин [9].

Однократна дія ЕМВ НВЧ активної частоти на клітини дріжджів виявлялась у кількох наступних генераціях. Безпосередньо опромінені клітини загинули, а збільшену швидкість ділення виявляли клітини дріжджів, на які не потрапило жодного кванту НВЧ-випромінювання від генератора.

Подібні результати отримані в [21] щодо приросту біомаси одноразово опроміненних НВЧ культур одноклітинних водоростей. Не можна повністю виключити іншу гіпотезу: що дія НВЧ-поля передається через воду, точніше, рідке середовище, яке після опромінювання може змінювати умови перебігу біосинтетичних процесів [22, 23]. Вимірювання змін діелектричних властивостей води та водних розчинів під дією електромагнітних полів підводять до висновку, що в тонких шарах всередині біологічних об'єктів рухливість іонів і молекул води значно знижена. Тому лише частина зв'язаних молекул води може переорієнтуватися в слабкому зовнішньому електромагнітному полі. Вплив на структуровану воду в біологічному об'єкті утруднений і потребує не збільшення потужності діючого поля, а підбору додаткових умов опромінювання для отримання резонансу. Можливі також “зсуви” резонансної смуги на кілька мегагерц, що може бути пов'язане зі зміною діелектричних властивостей живих клітин і водного середовища.

У такому аспекті можна пояснити і залежність біоефектів від частоти. Біологічне значення окремих частотних смуг ЕМВ НВЧ імовірно пов'язане зі змінами (колективними) конформації певних макромолекул (рецепторів, ферментів, ДНК) і каналів мембран. Резонансна частота зміни конформації визначається як властивостями молекули (домену, комплексу, ділянки ліпідної мембрани), так і її найближчого водного оточення (гідратних оболонки). Тому спроби моделювати окремо власні коливання/обертання біологічних молекул і води не здатні передбачити точні значення експериментальних “резонансів” міліметрового випроміню-

вання у живій клітині. Розрізнити вплив НВЧ-поля на воду та біомолекули важко, тому що в живій клітині утворюється багатофазне середовище (мікрогелі) зі складною структурою поверхні [24]. Поглинання НВЧ-енергії ($f \approx 10^{10}$ Гц) відповідає як частотам зв'язаної води, так і бокових груп амінокислот. За оптимальної для клітин температури (високої швидкості перебігу метаболічних реакцій та власних рухів) відбувається швидка дисипація зовнішнього НВЧ-випромінювання, і відгук біосистеми незначний. Зі зниженням температури мікрогель стабілізується і структурно-функціональні зміни у клітині під впливом ЕМВ НВЧ зберігаються та можуть бути зареєстровані.

Мішенями, які сприймають слабкий НВЧ-сигнал, крім безпосередньо білків, що беруть участь в метаболічних процесах або їх регуляції, можуть бути молекули ДНК і РНК. На користь цього припущення свідчить зберігання ефекту в наступних поколіннях клітин дріжджів, що не знавали впливу ЕМВ НВЧ. Однак "згасання" ефекту наводить на думку про включення альтернативних "пошкодженим" метаболічних шляхів. Адже відомо, що геном дріжджів містить близько 6000 генів, з яких лише 1000 є необхідними для існування в сприятливих лабораторних умовах. Інші (близько 5000) виявились корисними для нестандартних умов, підвищуючи резистентність дріжджів.

Отже, прискорення/пригнічення метаболічних процесів дріжджів *S. cerevisiae*, спричинене однократною дією ЕМВ НВЧ нетеплової інтенсивності, виявляється в наступних неопромінених поколіннях клітин, але не є необоротним для популяції.

Висновки

На основі експериментальних даних встановлено оптимальні параметри опромінення ЕМВ НВЧ культури дріжджів *S. cerevisiae* М-09: частота – 41,76 ГГц і тривалість обробки – 10 хв для найбільшого стимулюючого ефекту в діапазоні 41,75–41,79 ГГц.

У спиртовій бражці, збродженій опроміненними засівними дріжджами ЕМВ НВЧ частотою 41,76 ГГц, накопичення біомаси порівняно з контролем підвищилось на 23,2 %, накопичення спирту – на 1,2 %, кількість виділеного діоксиду вуглецю – на 7,8 %. Водночас кількість незброджених цукрів зменшилась на 18,5 %.

Підйомна сила відфільтрованих із бражки дріжджів покращилась приблизно на 10 %, α -глюкозидазна активність (мальтазна) – на 7 %, зимазна активність – на 10 %.

Ефект від дії ЕМВ НВЧ на засівні дріжджі зберігався впродовж ще трьох генерацій збродження сула, але не був необоротним для популяції, що може бути пов'язане з адапційними можливостями дріжджів *S. cerevisiae* до дії зовнішніх впливів, що спричинено їх генетичною стійкістю.

Впровадження цього ефекту для інтенсифікації виробництва з використанням дріжджів *S. cerevisiae* не потребує значних капітальних вкладень і суттєвої зміни технології, але дасть змогу збільшити вихід спирту та дріжджів і покращити їхню якість.

Перспективним видається дослідження в зрілій бражці вмісту інших продуктів метаболізму дріжджів, що були піддані дії ЕМВ НВЧ.

1. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
2. Девятков Н.Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн на биологические объекты // Усп. физ. наук. – 1973. – 110, № 3. – С. 452–469.
3. Лавренчук Г.Й., Бундюк Л.С., Чоботко Г.М., Гурандо Г.М. Модифікаційний вплив низькоінтенсивних електромагнітних хвиль міліметрового діапазону на клітини *in vitro*, опромінюваних іонізуючою радіацією // Фізика живо-го. – 2007. – 15, № 1. – С. 113–124.
4. Девятков Н.Д., Бецкий О.В., Гелович Э.А. Исчезновение гемолитической активности золотистого пигмента у золотистого стафилококка под влиянием ЭМИ // Радиобиология. – 1981. – 21, № 2. – С. 163–171.
5. Dardanoni L., Torregrossa M.V., Tamburello I. Sensitivity Cells of *C. albicans* to Microwaves near 72–74 GHz // USNS/URSI Spreng Meet., Seattle, Wash. – 1979. – P. 462.
6. Preyfass Chiplay. Studies of Influence of Sublethal Action Microwaves Discharge on Metabolite Activity of *Staphylococcus aureus* // Appl. And Environ Microbiol. – 1980. – 39, N 1. – P. 13–16.
7. Grundler W., Keilmann F. Sharp Resonances in Yeast Growth Prove Nonthermal Sensitivity to Microwaves // Phys. Rev. Letters. – 1983. – 51, N 13. – P. 1214–1216.
8. Grundler W., Keilmann F. Resonant Microwave Effects on Locally Fixed Microcolonies // Z. Naturforsch. – 1989. – N 9-10. – P. 863–866.

9. *Furia L., Hill D., Gandhi O.* Effects of Millimeter Waves on Growth of *Saccharomyces cerevisiae* // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1986. – 33. – P. 993–999.
10. *Гамаюрова В.С., Крыницкая А.Ю., Астраханцева М.И.* Влияние ЭМИ КВЧ нетепловой интенсивности на рост дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2004. – № 1-2. – С. 117–120.
11. *Баран Б.А., Бубеницкова Г.Т., Рокицька В.Й., Хрящевський В.М.* Дія магнітного та електричного полів на процес бродіння // Вісник ХНУ. – 2009. – № 1. – С. 151–153.
12. *Бодрова О.Ю., Кречетникова А.Н.* Ультразвуковая обработка засевных дрожжей в технологии спирта // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2007. – № 3. – С. 26.
13. *А.с. 1564189 СССР, С 12 N 13/00, (С 12N 13/00, С 12R 17:865).* Способ выращивания дрожжей / Л.В. Кислая, А.И. Караченцева, В.А. Маринченко, М.У. Белый, Е.А. Андреев, Л.В. Маринченко, А.В. Якунов. – 4452856/31-13; Заявл. 05.07.1988; Оpubл. 15.05.90, Бюл. № 18. – 4 с.
14. *Андреев Е.А., Белый М.У., Караченцева А.И. и др.* Резонансная реакция дрожжевых клеток на воздействие малоинтенсивного электромагнитного поля миллиметрового диапазона // Изв. вузов. Пищевая технология. – 1990. – № 2-3. – С. 30–31.
15. *Нижельская А.И., Якунов А.В.* Оптимизация экспериментальных исследований резонансной реакции *Saccharomyces cerevisiae* на воздействие ЭМИ миллиметрового диапазона // Физика живого. – 2004. – 12, № 1. – С. 53–62.
16. *Нижельська О.І.* Дія надвисокочастотного електромагнітного випромінювання на культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, бактерій *Escherichia coli* і водорості *Dunaliella viridis*: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. – К., 2008. – 20 с.
17. *Инструкция по техническому и микробиологическому контролю спиртового производства* / Под общ. ред. А.П. Рухлядевой. – М.: Агропромиздат, 1986. – 400 с.
18. *Фертман Г.И., Шойхет М.И.* Химико-технологический контроль спиртового и ликеро-водочного производства. – М.: Пищевая пром-сть, 1975. – 340 с.
19. *Слюсаренко Т.П.* Лабораторный практикум по микробиологии пищевых производств. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – С. 82–88.
20. *Єрмаков В.М.* Q-цикл Мітчелла – центральна ланка сприйняття живими організмами електромагнітного випромінювання наднизької інтенсивності // Фізика живого. – 2005. – 13, № 1. – С. 17–21.
21. *Тамбиев А.Х.* Взаимодействие миллиметровых волн с фотосинтезирующими организмами, в том числе объектами фотобиотехнологии // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – № 2-4. – С. 140–156.
22. *Семихина Л.П.* Диэлектрические и магнитные свойства воды в водных растворах и биообъектах в слабых электромагнитных полях. – Тюмень: ТГУ, 2006. – 164 с.
23. *Кожокару А.Ф., Кожокару Н.Л., Бурковецкая Ж.И.* Механизмы прямого и опосредованного действия через воду низкоинтенсивного радиочастотного ЭМИ на мембранные системы и биологические объекты // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2006. – № 8-9. – С. 58–68.
24. *Туров В.В., Гунько В.М., Горбик П.П. и др.* Процессы самоорганизации водно-органических систем в наноразмерном пространстве твердых тел и биологических объектов // Физикохимия наноматериалов и супрамолекулярных структур / Под ред. А.П. Шпака и П.П. Горбика. – К.: Наук. думка, 2007. – С. 91–156.