

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА НАКОПЛЕНИЕ БИОМАССЫ И СОДЕРЖАНИЕ В НЕЙ ЛИПИДОВ У STREPTOMYCES CANOSUS CNMN-AC-02, КУЛЬТИВИРУЕМОГО НА ЖИДКОЙ СРЕДЕ

¹БУРЦЕВА С. А., ¹БЫРСА М. Н., ¹ЧЕБОТАРЬ В. И., ²ШИБАЕВА И. И., ²ШИБАЕВ А. Ю.,
²СИДОРЕНКО А. С.

¹ Институт микробиологии и биотехнологии, Молдова,
MD-2028, г. Кишинев, ул. Академическая, 1

² Институт электронной инженерии и нанотехнологий имени Д. Гицу,
Молдова, MD-2028, г. Кишинев, ул. Академическая, 3/3

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния низкочастотного магнитного поля малой интенсивности на микроорганизмы. Актуальность исследований обусловлена важностью запрограммированного получения физиологически значимых для человека веществ, продуцируемых микроорганизмами. Рассмотрены результаты воздействия магнитного поля заданных параметров на накопление биомассы и содержание в ней липидных соединений *Streptomyces canosus* CNMN-Ac-02, культивируемого на жидкой комплексной среде.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микроорганизмы, факторы физической природы, магнитное поле, липиды, биомасса.

ВВЕДЕНИЕ

Учитывая все возрастающую необходимость совершенствования способов управления качественной направленностью биосинтеза физиологически важных веществ микроорганизмами, становится ясным, что, помимо селекции штаммов и оптимизации условий их культивирования, возникает необходимость ведения исследований в направлении получения мутантов с использованием физических или химических мутагенов. Одной из наиболее актуальных задач современной биологии является изучение ответа биологического материала на воздействия факторов физической природы, таких как магнитные импульсы, гамма и УФ-лучи, лазерное облучение и др. Среди физических факторов, влияющих на развитие и биосинтетическую активность микроорганизмов, большой интерес проявляется к электромагнитным излучениям (ЭМИ) разного происхождения, разных мощностей и частотных диапазонов. Объясняется это тем, что любая биосистема неотделима не только от внешних, являющихся физическими факторами среды, но и от внутренних электромагнитных полей, которые составляют информационную основу жизнедеятельности [1].

Многочисленными экспериментами подтверждена роль электромагнитных излучений (ЭМИ) миллиметрового диапазона низкой интенсивности как одного из регулирующих факторов в процессе роста и развития микроорганизмов. При этом отмечается неоднозначность действия их на микробную клетку. Эффект воздействия зависит как от частоты и мощности излучения, так и от исходного состояния биологического объекта [2 – 4]. Описано его влияние на различные физиологические процессы и свойства у бактерий [5 – 7], цианобактерий [8], актиномицетов [9 – 12], а именно, на клеточное деление, морфологические признаки, скорость роста, выход биомассы, ферментативную активность и пр. Так, например, действие электромагнитного поля на *B. subtilis* 316 М вызывает 1.5- и 4-кратное увеличение протеолитической и гемагглютинирующей активностей в культуральной жидкости [13].

Известно также, что воздействие электромагнитным полем в диапазоне от 5 МГц до 25 МГц приводит к возникновению отрицательных зарядов (электронов) и изменению электромагнитной восприимчивости. В связи с этим магнитная энергия макромолекул может превышать энергию теплового движения, поэтому электромагнитные поля даже в малых дозах вызывают ориентационные и концентрационные изменения биологически активных макромолекул, что отражается на кинетике биохимических реакций и на скорости биофизических процессов [14]. Воздействие переменным низкочастотным электромагнитным полем на микроорганизмы приводит к переориентации и деформации жидкокристаллических структур (мембран, митохондрий и др.) под влиянием электромагнитного поля. Это сказывается на проницаемости, играющей важную роль в регуляции биохимических процессов и выполнении ими биологических функций [15].

В связи с вышеизложенным актуальна задача исследования последствий облучения микроорганизмов низкочастотными магнитными полями малой интенсивности. Задачей настоящей работы являлось изучение направлений воздействия магнитного поля на микроорганизмы.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Ранее нами, для получения новых устойчивых вариантов, отличающихся от исходной культуры повышенной липогенной активностью, были проведены опыты с коллекционным штаммом стрептомицетов *S. canosus* CNMN-Ас-02, на который действовали гамма-излучением в сочетании с УФ-лучами. После культивирования на комплексной жидкой среде М-1, у новых вариантов выявили увеличение накопления биомассы на 8.1 – 115.7 %, количество липидов – на 22.1 – 287.1 %. При сравнении способности этих вариантов синтезировать фосфолипиды было установлено, что после воздействия гамма-облучения они составляли в ОЛ 113.3 – 135.0 %, после УФ-лучей – 110.4 – 135.2 %, а после комбинированного воздействия – 142.4 %. Количество стерина также превышало контроль и составляло 104.3 – 130.55, а у одного из вариантов даже достигало 201.05 по сравнению с контролем (исходной культурой). При культивировании штамма на жидкой комплексной среде М-1 было замечено существенное увеличение спектра жирных кислот (с 7 до 12 ЖК), а коэффициент насыщенности у полученных вариантов был равен 0.39; 0.28 и 0.3. Опыты показали, что при сочетании действия двух факторов (гамма и УФ-лучи) частота морфологически измененных форм колоний у штамма возрастает по сравнению с частотой изменения этих форм, возникающих от действия одних только УФ-лучей [16].

Из литературы известно, что облучение ЭМИ миллиметрового диапазона, не вызывая грубых нарушений клеточной структуры микроорганизмов, может при определенных условиях оказывать стимулирующее действие на их физиологические и биохимические свойства [17 – 21]. В некоторых исследованиях получены данные о том, что низкочастотные магнитные поля влияют на фосфор и железо, входящие в состав важнейших для жизни молекул в клетках бактерий, а именно, ускоряется обмен веществ путем увеличения поглощения ионов железа из питательной среды [22].

Наименее изучено действие на биосубстраты и организмы электромагнитных волн сантиметрового диапазона (сверхвысокочастотных – СВЧ), но используется в основном для стерилизации и пастеризации объектов в пищевой промышленности и для фумигации почв при определении углерода почвенной микробной биомассы. Известно также и о стимулирующем эффекте действия СВЧ излучения на почвенные актиномицеты. Еще показано стимулирующее действие микроволн на выживаемость, прирост биомассы и интенсивности дыхания *Streptomyces xanthochromogenes*, а также авторы отмечают, что в почве для стимуляции прорастания спор и роста этого штамма требуется в 2 раза более длительная обработка СВЧ-излучением по сравнению с жидкой средой [23].

Для исследования последствий облучения микроорганизмов низкочастотными магнитными полями малой интенсивности в работе использовался прибор «Биостимул-1», разработанный нами в Институте Электронной Инженерии и Нанотехнологий (рис. 1). В зоне кольцевого индуктора создается переменное импульсное магнитное поле с индукцией 40 – 50 мкТл в диапазоне 1 – 10 Гц.

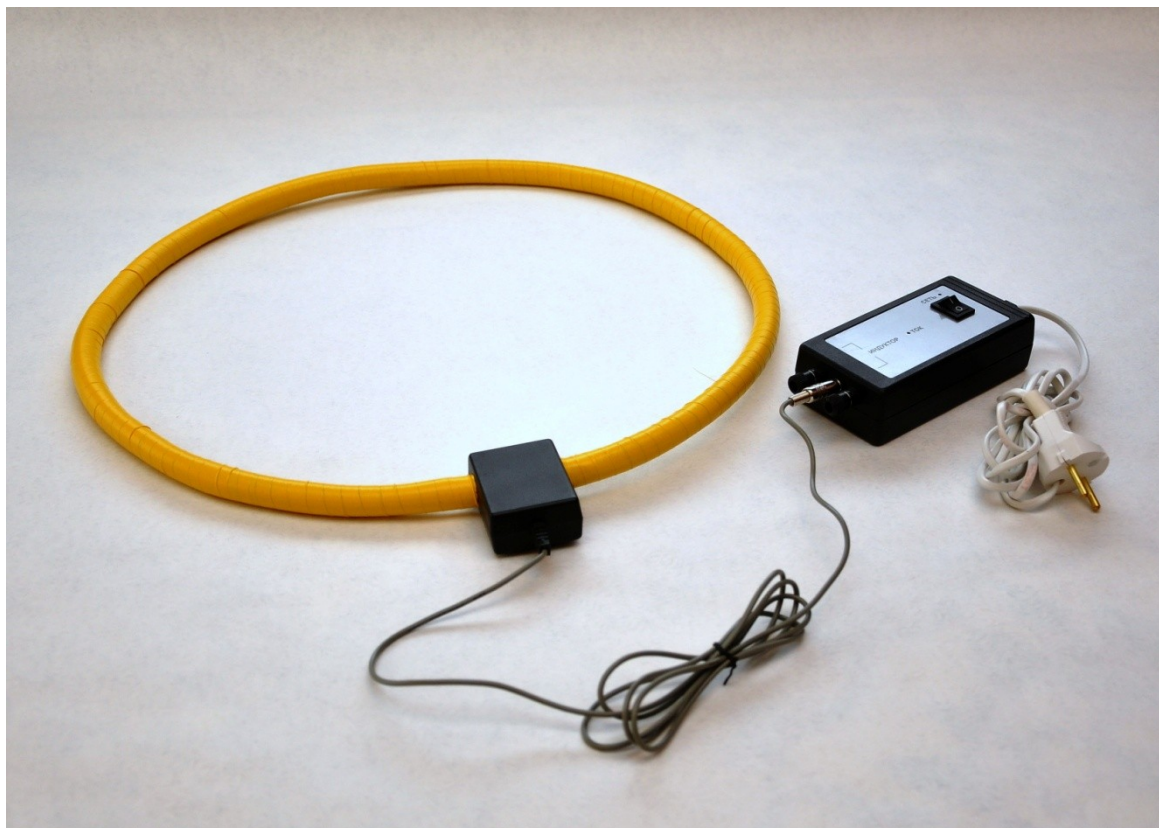


Рис. 1. Экспериментальный прибор «Биостимул-1» с кольцевым индуктором

Своей задачей мы поставили изучение направлений воздействия магнитного поля на микроорганизмы. Для экспериментов была взята культура *Streptomyces canosus*. Воздействие на материал, находящийся в чашках Петри, происходило в пространстве индуктора прибора «Биостимул-1» с различными экспозициями по времени. После обработки магнитным полем материал культивировался по традиционной микробиологической методике.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что эффект воздействия ЭМИ мм-диапазона низкой интенсивности на *Streptomyces canosus* зависит от времени облучения и имеет разнонаправленный характер, что можно объяснить индивидуальными особенностями изучаемых штаммов. Так, облучение *S. canosus* CNMN-Ас-06 и *S. canosus* CNMN-Ас-08 приводило к ингибированию накопления биомассы (БМ) и увеличению содержания общих липидов ОЛ в биомассе этих штаммов, кроме одной и 30-ти минут облучения, после чего происходит уменьшение продуктивности липидов у исходной культуры – *S. canosus* CNMN-Ас-06. Воздействие ЭМИ мм-диапазона низкой интенсивности на штамм *S. canosus* CNMN-Ас-07 способствовало стимуляции накопления БМ и уменьшению накопления липидов в ней. Наиболее резонансным оказалось воздействие ЭМИ на исследуемые штаммы в течение 5 и 10 минут, которые вызывали максимальную стимуляцию накопления БМ и образования липидов. Также было замечено, что воздействие ЭМИ в течение 1.3 и 5 минут способствовало увеличению доли фракции фосфолипидов у

S. canosus CNMN-Ас-08, а стеринов – при всех экспозициях воздействия. У штамма *S. canosus* CNMN-Ас-06 происходило увеличение количества фосфолипидов и стеринов при всех экспозициях воздействия ЭМИ, а у *S. canosus* CNMN-Ас-07 выявлено увеличение только фракции стеринов (при воздействии 5 мин).

В таблице представлены результаты определения количества образуемой биомассы и содержание в ней липидов до и после обработки магнитным полем у штамма *Streptomyces canosus* CNMN-Ас-02, культивируемого на жидкой комплексной среде М-І. По данным таблицы видно, что выращивание изучаемого штамма на этой среде в условиях наших опытов привело к накоплению БМ в количестве 5.46 г/л. Проведенный 3-кратный пересев культуры вызвал определенные изменения в количестве образуемой БМ: после первого и второго посева изменения в количестве БМ были незначительные (95.23 и 98.35 % к началу опыта у исходного штамма до обработки МП). После третьего посева количество БМ снизилось до 4.82 г/л (88.27 % по отношению к контролю К). Сразу после воздействия МП на изучаемый штамм и культивирования его на комплексной жидкой среде М-І, была получена БМ в количестве 3.31 г/л, что составляет 60.62 % от количества БМ, полученной до обработки МП. После первого посева количество БМ уменьшилось и составляло 49.81 % к началу опытов, после второго посева – 51.64 % и после третьего посева – 52.19 %. Таким образом, воздействие МП существенно снижало способность изучаемого штамма накапливать БМ, количество которой при посевах уменьшилось с 5.46 г/л до 2.72 – 2.85 г/л (82.17 – 86.1 % по отношению к контролю).

Таблица

Количество биомассы и липидов в ней у *Streptomyces canosus* CNMN-Ас-02 до и после обработки магнитным полем и 3-х посевов (в чашках Петри)

	Биомасса					ОЛ		ОЛ – опыт		
	контроль, г/л	%	магнитное поле, г/л	%	% к исх. штамму	контроль, %	% / %	магнитное поле, %	% / %	% к исх. штамму
Исх. вариант	5.46±0.18	100	3.31±0.26	100	60.62	15.78±0.29	100	7.57±0.37	100	47.97
1-й посев	5.20±0.11	95.23	2.72±0.19	82.17	49.81	15.18±0.96	96.19	9.88±0.18	130.51	62.61
2-й посев	5.37±0.35	98.35	2.82±0.34	85.19	51.64	14.88±0.16	94.29	10.20±0.27	134.74	64.63
3-й посев	4.82±0.38	88.27	2.85±0.17	86.10	52.19	15.53±0.35	98.41	11.36±0.58	150.06	71.98

В начале опытов после культивирования изучаемого штамма на комплексной среде в БМ количество ОЛ составляло 15.78 %. Сразу же после воздействия на штамм МП, после роста на комплексной среде, штамм оказался способным к образованию ОЛ в БМ в количестве только 7.57 %, что составляло 47.97 % по отношению к контролю (начало опытов). После первого посева было замечено, что изучаемый штамм оказался способным накопить ОЛ в БМ, количество которых было меньше, чем на начало опытов у изучаемого штамма (до обработки МП), но заметно больше, чем сразу после воздействия на него МП – 9.88 %, а не 7.57 %. Однако после второго посева количество ОЛ оказалось меньше, чем в К и чуть больше, чем в БМ после первого посева – 10.20 % (64.74 % по отношению к контролю). Количество образуемых ОЛ у исследуемого штамма после третьего посева заметно отличалось от их количества в БМ штамма после двух посевов (11.36 – 71.98 % по отношению к контролю). Таким образом, можно предположить, что этот штамм стрептомицетов обладает способностью к восстановлению липидообразующей активности после ряда посевов, которая в значительной степени снижалась сразу же после воздействия на этот штамм магнитного поля.

Следующим этапом наших исследований было определение влияния МП и пересевов на фракционный состав ОЛ биомассы штамма, культивируемого на жидкой комплексной среде М-1 (рис. 2). Видно, что сразу после воздействия МП на штамм в ОЛ количество фракции ФЛ уменьшилось с 7.01 % до 5.76 %, т.е. составило 82.16 % по отношению к контролю (исходный штамм до начала опытов). В процессе трех пересевов содержание ФЛ в ОЛ этого штамма изменилось следующим образом: после первого пересева количество ФЛ повысилось по сравнению с исходным штаммом на 8.13 %. После второго и третьего пересевов также замечено увеличение доли ФЛ в суммарных липидах штамма – на 14.69 и 16.83 % (у штамма до обработки культуры МП).

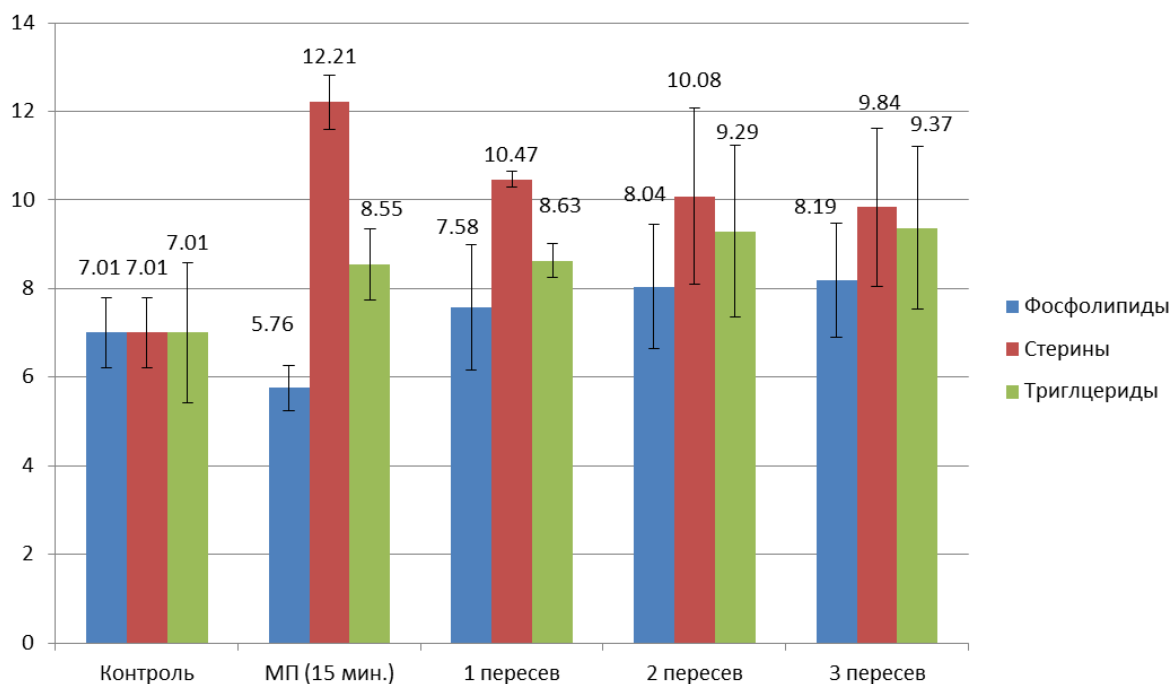


Рис. 2. Количество основных липидных фракций в липидах биомассы штамма до и после обработки МП и пересевов

У другой физиологически важной липидной фракции – стеринов сразу после воздействия на штамм МП отмечено заметное увеличение их количества (на 74.17 % к исходному штамму).

В процессе пересевов количество стеринов в ОЛ снизилось, но оставалось выше, чем у этой фракции у исходного штамма до обработки его МП. Так, например, после первого пересева их количество превышало исходный штамм на 40.4 %, а после второго и третьего пересевов – на 43.83 % и 40.41 % соответственно по отношению к контролю К (исходный штамм на начало опытов, до обработки МП).

Количество триглицеридов также повысилось в ОЛ этого штамма сразу же после воздействия на него МП – на 21.96 %, а после пересевов – на 23.16; 32.66 и 33.5 % соответственно по сравнению с количеством триглицеридов в ОЛ биомассы исходного штамма на начало исследований.

Таким образом, проведенные опыты показали, что МП вызывает увеличение содержания в ОЛ биомассы изучаемого штамма стрептомицетов таких фракций, как фосфолипиды (на 8.13 – 16.83 %), стерины (на 40.41 – 49.4 %) и триглицериды (на 23.16 – 33.8 %) по сравнению с их количеством у этого штамма на начало исследований (до обработки культуры МП).

Относительно фракции моноглицеридов (рис. 3) можно отметить, что их количество незначительно снизилось после воздействия на штамм МП, по сравнению с их количеством в ОЛ исходного штамма (90.32 – 98.66 % по отношению к контролю). У фракции

диглицеридов было замечено следующее: сразу после воздействия МП на штамм их количество увеличилось на 28.1 % по сравнению с контролем, а после пересевов они составляли 106.75 – 118.01 % по отношению к контролю. У изучаемого штамма стрептомицетов сразу же после воздействия на него МП количество эфиров стерина увеличилось в ОЛ на 20.47 % по отношению к контролю, а после пересевов их количество превышало исходный штамм на 35.01 – 37.2 %.

После воздействия МП на штамм стрептомицетов в его биомассе понизилась доля восков, которая составляла 78.61 % по отношению к контролю (исходный штамм). После пересевов их количество оставалось меньше, чем в липидах штамма до его обработки МП (72.96 – 88.54 % по отношению к контролю).

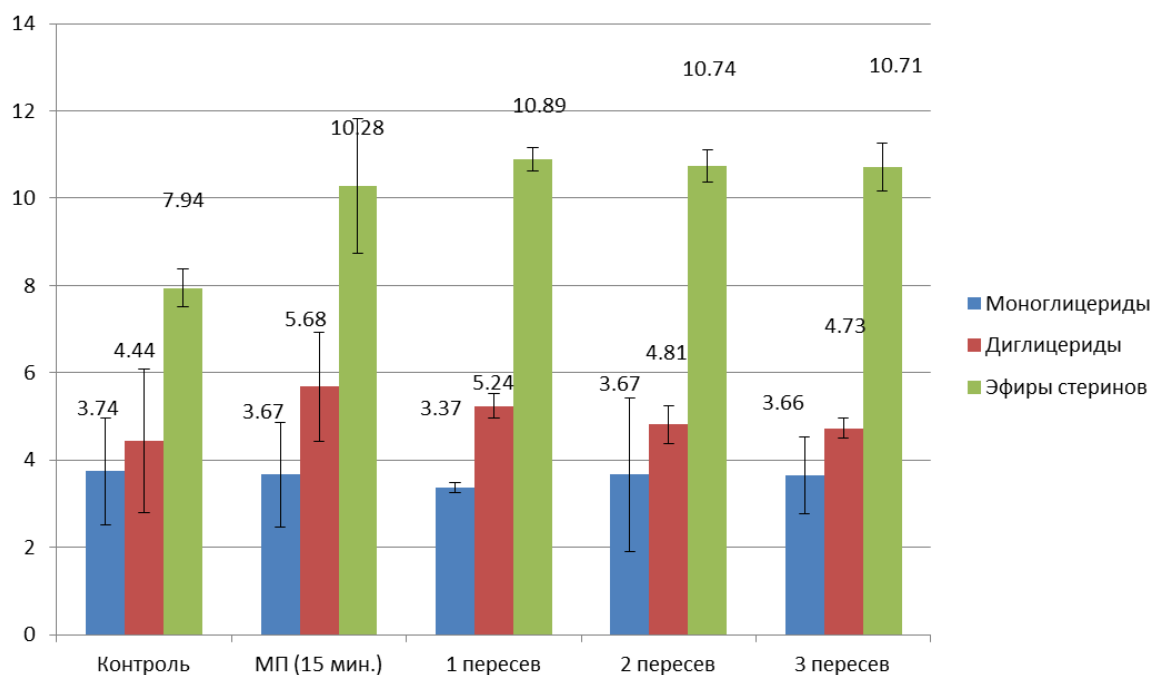


Рис. 3. Количество вторичных липидных фракций в липидах биомассы штамма до и после обработки МП и пересевов

ВЫВОДЫ

В работе описаны литературные данные о воздействии различных факторов физической природы на микроорганизмы, а также методика и результаты собственных исследований влияния низкочастотного магнитного поля малой интенсивности на *Streptomyces canosus*.

Исследования показали, что процесс восстановления липидообразующей способности этого штамма после воздействия МП и пересевов происходит активнее, чем способность к накоплению БМ этим штаммом при культивировании на жидкой комплексной среде.

Также можно отметить, что МП вызывает активизацию синтеза изучаемым стрептомицетом физиологически важных липидных фракций (фосфолипиды, стерин и триглицериды) на фоне снижения содержания в ОЛ биомассы этого штамма вторичных липидных фракций (эфиры стерина, воска и др.).

Работа выполнена в рамках институционального проекта «Функциональные наноструктуры и наноматериалы для промышленности и сельского хозяйства» при финансовой поддержке гранта «SPINTECH» Программы «HORIZON-2020», Grant agreement №: 810144.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин А. С., Колесник А. Г. Медико-биологические аспекты воздействия электромагнитного фона в диапазоне крайне низких частот // В кн.: Региональный мониторинг атмосферы. Часть 5: Электромагнитный фон Сибири / отв. ред. М.В. Кабанов. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2001. С. 215-262.
2. Бецкий О. В., Кислов В. В., Лебедева Н. Н. Миллиметровые волны и живые системы. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004. 272 с.
3. Брюхова А. К., Буяк Л. И., Зиновьева Н. А. и др. Некоторые особенности действия ЭМИ миллиметрового диапазона на микроорганизмы // Сборник статей: Медико-биологические аспекты миллиметровые излучения / под ред. Н.Д. Девяткова. М.: ИРЭ АН СССР, 1987. С. 96-103.
4. Бурцева С. А. и др. Влияние плотности мощности миллиметрового излучения на биологическую активность стрептомицетов // Сборник трудов 14 Российского симпозиума с международным участием: Миллиметровые волны в медицине и биологии. М.: МТА-КВЧ, 2007. С. 127-130.
5. Глыбочко П. В., Пляченко Д. А., Софьин В. С., Лобанова А. В. Влияние лазерного, СВЧ- и КВЧ-излучений на *Trichomonas vaginalis* в условиях непрерывного культивирования // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2007. № 2(22). С. 27-31.
6. Кузнецов В. Д. и др. Регуляторная роль температуры культивирования в биосинтезе вторичных липидов *Streptomyces galbus* frommer // Сборник тезисов конференции: Проблемы изыскания и биотехнология новых антибиотиков. М.: НЦ биологических исследований АН СССР, 1982. С. 26.
7. Куликова Т. Я., Черногор Н. П., Кукушкина Н. В. Изменчивость культуры *Streptomyces gesifensis* var. *lyticus* и способность синтезировать фактор роста // Тезисы докладов Всесоюзной конференции: Микроорганизмы – стимуляторы и ингибиторы роста растений и животных. Ташкент, 1989. С. 112.
8. Лябушева О. А., Лукьянов А. А., Тамбиев А. Х., Кирикова Н. Н. Стимулирующее действие электромагнитного излучение ММ-диапазона (КВЧ-излучение) на цианобактерии // Материалы II Московского международного конгресса "Биотехнология: состояние и перспективы развития". М.: ЗАО "ПИК "Максима", РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. Т. 1. С. 102-103.
9. Ли Ю. В., Терехова Л. П., Гапочка М. Г. Выделение актиномицетов из почвы с использованием КВЧ-излучения // Микробиология. 2002. Т. 71, № 1. С. 119-122.
10. Лукьянов А. А., Тамбиев А. Х., Лихачева А. А., Зенова Г. М. Изменение физиологической активности актиномицетов под действием электромагнитного излучения // Материалы I Международного конгресса "Биотехнология – состояние и перспективы развития". М., 2002. С. 251.
11. Постолакий О. М., Бурцева С. А. Влияние миллиметрового излучения на рост и липидообразование *Streptomyces canosus* CNMN-As-02 и его вариантов // Электронная обработка материалов. 2009. № 2 (256). С. 93-97.
12. Тамбиев А. Х., Лукьянов А. А. Возможности диагностики влияния КВЧ- и СВЧ-излучения на цианобактерии, микроводоросли и актиномицеты (обзор) // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. № 2. С. 39-53.
13. Кудря В. А., Симоненко И. А., Колтукова Н. В., Поваляева И. В., Яковлева О. В. Влияние электромагнитного поля на биосинтез и некоторые свойства внеклеточной протеиназы и лектина *Bacillus subtilis* 316 M // Прикладная биохимия и микробиология. 1996. Т. 32, № 6. С. 646-649.
14. Абашина Т. Н. Изменение структурной организации бактериальных клеток при стрессовых воздействиях: Дис. канд. биол. наук. Пушино, ИБФМ им. Г.К. Скрыбина РАН, 2007. 128 с.
15. Пирузян Л. А., Кузнецов А. Н. Действие постоянных и низкочастотных магнитных полей на биологические системы // Известия Академии наук СССР. Серия биологическая. 1983. Т. 6. С. 805-821.
16. Бурцева С. А. Биологически активные вещества стрептомицетов (биосинтез, свойства, перспективы применения): Автореф. дисс. док-ра хаб. биологии. Кишинев, 2002. 35 с.
17. Clapco S. Influența undelor milimetrice de intensitate joasă asupra activității pectolitice a micromicetei *Penicillium viride* CNMNF 04 P // Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții, 2005, nr. 2, pp. 142-149.
18. Deseatnic A. și al. Influența radiației milimetrice cu intensitate mica asupra activității enzimatică a unor tulpini de fungi miceliali // Proceedings of the 30th Annual Congress of the American Romanian Academy of Arts and Sciences (ARA). Chișinău, 2005, pp. 84-86.
19. Usatîi A., Molodoi E., Rotaru A., Moldoveanu T., Borisova T. Influența undelor milimetrice de intensitate joasă asupra activității funcționale a drojdiei *Saccharomyces cerevisiae* CNMN-Y-16 // Studia Universitatis Moldaviae. Seria științe reale și ale naturii, 2008, nr. 7 (17), pp. 39-43.
20. Гамаюрова В. С., Крыницкая А. Ю., Астраханцева М. Н. Влияние ЭМИ КВЧ нетепловой интенсивности на рост дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Журнал радиоэлектроники. 2003, № 3. С. 4.

21. Sola-Landa A., Rodríguez-García A., Franco-Domínguez E., Martín J. F. Binding of PhoP to promoters of phosphate-regulated genes in *Streptomyces coelicolor*: identification of PHO boxes // *Molecular Microbiology*, 2005, vol. 56, iss. 5, pp. 1373-1385.

22. Benning L. G., Phoenix V. R., Yee N., Konhauser K. O. The dynamics of cyanobacterial silicification: an infrared micro-spectroscopic investigation // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, vol. 68, no. 4, pp. 743-757.

23. Комарова А. С., Лихачева А. А., Лапыгина Е. В., Максимова И. А., Поздняков А. И. Влияние электромагнитных микроволн на прорастание спор *Streptomyces xanthochromogenes* в торфяной почве и в жидкой питательной среде // *Почвоведение*. 2010. № 1. С. 83-86.

Effect of Magnetic Field on Biomass Accumulation and Lipid Content in *Streptomyces Canosus* CNMN-Ac-02 Cultivated in a Liquid Medium

¹Burtseva S. A., ¹Byrsa M. N., ¹Chebota V. I., ²Shibaeva I. I., ²Shibaev A. Yu., ²Sidorenko A. S.

¹ Institute of Microbiology and Biotechnology, Chisinau, Moldova

² D. Ghitu Institute of Electronic Engineering and Nanotechnologies, Chisinau, Moldova

SUMMARY. The work is devoted to the study of the effect of a low-frequency magnetic field of low intensity on microorganisms. The field of study was not chosen by chance. One of the most urgent problems of modern biology is to study the response of biological material to the effects of physical factors such as magnetic pulses, gamma and UV rays, laser irradiation, etc. Among the physical factors affecting the development and biosynthetic activity of microorganisms, great interest is shown in electromagnetic radiation of different origins, different power and intensity. The role of low-intensity mm-range EMR as one of the regulating factors in the growth and development of microorganisms is confirmed by numerous experiments. The ambiguity of the action of physical factors on the microbial cell is noted. The effect of exposure depends both on the frequency and power of the radiation, and on the initial state of the biological object. Previously, we conducted experiments with the collection strain of streptomycetes *S. canosus* CNMN-Ac-02, which was exposed to gamma radiation in combination with UV rays. The variants obtained in the experiment showed an increase in biomass accumulation by 8.1-115.7 %, and the amount of lipids – by 22.1-287.1 %, but the frequency of morphologically changed forms of colonies also increased. It is important to note that irradiation with mm-range EMR does not cause disturbances in the cellular structure of microorganisms and can, at the same time, have a stimulating effect on the physiological and biochemical properties of cells. The relevance of the research is due to the importance of the programmed production of substances that are physiologically significant for humans, produced by microorganisms. The results of the effect of a magnetic field of specified parameters on the accumulation of biomass and the content of lipid compounds in it in *Streptomyces canosus* CNMN-Ac-02 cultured in a liquid complex medium are considered. Microbiological material in Petri dishes was exposed to a low-frequency magnetic field of low intensity with different exposures in time. To create a magnetic field, we used the Biostimul 1 device, developed by us at the Institute of Electronic Engineering and Nanotechnology, in the inductor zone of which an alternating pulsed magnetic field with an induction of 40-50 μT in the range of 1- 10 Hz is created. Studies have shown that irradiation of *S. canosus* CNMN-Ac-06 and *S. canosus* CNMN-Ac-08 leads to inhibition of BM accumulation and an increase in AL content in the biomass of these strains, except for one and 30 minutes of irradiation, after which there is a decrease in lipid productivity in the original culture - *S. canosus* CNMN-Ac-06. On the contrary, the effect of low-intensity mm-range EMR on the *S. canosus* CNMN-Ac-07 strain promoted the stimulation of BM accumulation and a decrease in lipid accumulation in it. The most resonant effect was the effect of EMR on the studied strains for 5 and 10 minutes, which caused the maximum stimulation of BM accumulation and lipid formation. Exposure to EMR for 1.3 and 5 minutes promoted an increase in the fraction of phospholipids in *S. canosus* CNMN-Ac-08, and sterols at all exposures. In the strain *S. canosus* CNMN-Ac-06, an increase in the amount of phospholipids and sterols occurred at all exposures to EMR, while in *S. canosus* CNMN-Ac-07, an increase in only the fraction of sterols was revealed. Studies have shown that the process of restoration of the lipid-forming ability of this strain after exposure to MP and reseeded occurs more actively than the ability to accumulate BM by this strain when cultivated on a liquid complex medium. It can also be noted that MP activates the synthesis of physiologically important lipid fractions (phospholipids, sterols, and triglycerides) by the streptomycetes under study against the background of a decrease in the content of secondary lipid fractions (esters of sterols, wax, etc.) in the OB biomass of this strain, obtaining physiologically significant for humans substances produced by microorganisms.

KEYWORDS: microorganisms, factors of physical nature, magnetic field, lipids, biomass.

REFERENCES

1. Borodin A. S., Kolesnik A. G. Mediko-biologicheskie aspekty vozdeystviya elektromagnitnogo fona v diapazone krayne nizkikh chastot [Biomedical aspects of the impact of the electromagnetic background in the extremely low frequency range]. V kn.: *Regional'nyy monitoring atmosfery. Chast' 5: Elektromagnitnyy fon Sibiri* [In the book: Regional monitoring of the atmosphere. Part 5: Electromagnetic background of Siberia]. Tomsk: Institut optiki atmosfery SO RAN Publ., 2001, pp. 215-262.
2. Betskiy O. V., Kislov V. V., Lebedeva N. N. *Millimetrovye volny i zhivye sistemy* [Millimeter waves and living systems]. Moscow: SAYNS-PRESS Publ., 2004. 272 p.
3. Bryukhova A. K., Buyak L. I., Zinov'eva N. A. i dr. Nekotorye osobennosti deystviya EMI millimetrovye diapazona na mikroorganizmy [Some features of the action of EMR millimeter ranges on microorganisms]. Sbornik statey: *Mediko-biologicheskie aspekty millimetrovye izlucheniya* [Collection of articles: Medico-biological aspects of millimeter radiation]. Moscow: IRE AN SSSR Publ., 1987, pp. 96-103.
4. Burtseva S. A. i dr. Vliyanie plotnosti moshchnosti millimetrovogo izlucheniya na biologicheskuyu aktivnost' streptomitsetov [Influence of the power density of millimeter radiation on the biological activity of streptomycetes]. Sbornik trudov: *Millimetrovye volny v meditsine i biologii* [Collection of works: Millimeter Waves in Medicine and Biology] Moscow: MTA-KVCh Publ., 2007, pp. 127-130.
5. Glybochko P. V., Plyachenko D. A., Sof'in V. S., Lobanova A. V. Vliyanie lazernogo, SVCh- i KVCh-izlucheniya na *Trychomonas vaginalis* v usloviyakh nepreryvnogo kul'tivirovaniya [Effect of laser, microwave and EHF-radiation on *trychomonas vaginalis* in conditions of continuous culture growth]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* [Journal of VolgSMU], 2007, no. 2(22), pp. 27-31.
6. Kuznetsov V. D. i dr. Regulyatornaya rol' temperatury kul'tivirovaniya v biosinteze vtorignykh lipidov *Streptomyces galbus* frommer [Regulatory role of cultivation temperature in biosynthesis of secondary lipids of *Streptomyces galbus* frommer]. Sbornik tezisov konferentsii: *Problemy izyskaniya i biotekhnologiya novykh antibiotikov* [Collection of conference abstracts: Problems of research and biotechnology of new antibiotics]. Moscow: NTs biologicheskikh issledovaniy AN SSSR, 1982, p. 26.
7. Kulikova T. Ya., Chernogor N. P., Kukushkina N. V. Izmenchivost' kul'tury *Streptomyces recifensis* var. *lyticus* sposobnost' sintezirovat' faktor rosta [The variability of the culture of *Streptomyces recifensis* var. *lyticus* and the ability to synthesize a growth factor]. Tezisy dokladov Vsesoyuznoy konferentsii: *Mikroorganizmy – stimulyatory i inhibitory rosta rasteniy i zhyvotnykh* [Abstracts of the All-Union Conference: Microorganisms – stimulators and inhibitors of plant and animal growth]. Tashkent, 1989, p. 112.
8. Lyabusheva O. A., Luk'yanov A. A., Tambiev A. Kh., Kirikova N. N. Stimuliruyushchee deystvie elektromagnitnogo izlucheniya MM-diapazona (KVCh-izlucheniya) na tsianobakterii [Stimulating effect of electromagnetic radiation of the MM-range (EHF radiation) on cyanobacteria]. Materialy II Moskovskogo mezhdunarodnogo kongressa "*Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya*" [Proceedings of the II Moscow International Congress "Biotechnology: State and Development Prospects"]. Moscow: ZAO "PIK "Maksima", RKhtU im. D.I. Mendeleeva Publ., 2003, vol. 1, pp. 102-103.
9. Li I. V., Terekhova L. P., Gapochka M. G. Isolation of Actinomycetes from Soil Using Extremely High Frequency Radiation. *Microbiology*, 2002, vol. 71, iss. 1, pp. 105-108. <https://doi.org/10.1023/A:1017962619473>
10. Luk'yanov A. A., Tambiev A. Kh., Likhacheva A. A., Zenova G. M. Izmenenie fiziologicheskoy aktivnosti aktinomitsetov pod deystviem elektromagnitnogo izlucheniya [Changes in the physiological activity of actinomycetes under the influence of electromagnetic radiation]. Materialy I Mezhdunarodnogo kongressa "*Biotekhnologiya – Sostoyanie i perspektivy razvitiya*" [Proceedings of the I International Congress: Biotechnology – State and Development Prospects]. Moscow, 2002, pp. 251.
11. Postolakiy O. M., Boortseva S. A. MM radiation influence upon the growth and lipid formation of *Streptomyces canosus* CNMN-Ac-02 and its variants. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2002, vol. 45, iss. 2, pp. 157-160. <https://doi.org/10.3103/S1068375509020148>
12. Tambiev A. Kh., Luk'yanov A. A. Vozmozhnosti diagnostiki vliyaniya KVCh- i SVCh-izlucheniya na tsianobakterii, mikrovodorosli i aktinomitsety (obzor) [Diagnostics possibilities of influence EHF- and microwave radiations on cyanobacteria, microalgae and actinomycetes]. *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics], 2011, no. 2, pp. 39-53.
13. Kudrya V. A., Simonenko I. A., Koltukova N. V., Povalyaeva I. V., Yakovleva O. V. Effect of electromagnetic field on biosynthesis and certain properties of extracellular proteinase and lectin from *Bacillus subtilis* 316 M. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 1996, vol. 32, no. 6, pp. 582-584.
14. Abashina T. N. *Izmenenie strukturnoy organizatsii bakterial'nykh kletok pri stressovykh vozdeystviyakh*: Diss. kand. biol. nauk. Pushchino, Institut biokhimii i fiziologii mikroorganizmov im. G.K. Skryabina RAN, 2007. 128 p.

15. Piruzyan L.A., Kuznetsov A.N. Influence of constant and low frequency magnetic fields on the biological systems. *Biology Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR*, 1983, vol. 6, pp. 805-821.
16. Burtseva S. A. *Biologicheski aktivnye veshchestva streptomitsetov (biosintez, svoystva, perspektivy primeneniya)* [Biologically active substances of streptomycetes (biosynthesis, properties, application prospects)] Avtoref. diss. dok-ra khab. biologii. Kishinev, 2002. 35 p.
17. Clapco S. Influența undelor milimetrice de intensitate joasă asupra activității pectolitice a micromicetei *Penicillium viride* CNMNF 04 P. *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții*, 2005, no. 2, pp. 142-149.
18. Deseatnic A. și al. Influența radiației milimetrice cu intensitate mica asupra activității enzimice a unor tulpini de fungi miceliali. *Proceedings of the 30th Annual Congress of the American Romanian Academy of Arts and Sciences (ARA)*. Chișinău, 2005, pp. 84-86.
19. Usafti A., Molodoi E., Rotaru A., Moldoveanu T., Borisova T. Influența undelor milimetrice de intensitate joasă asupra activității funcționale a drojdiei *Saccharomyces cerevisiae* CNMN-Y-16. *Studia Universitatis Moldaviae. Seria științe reale și ale naturii*, 2008, nr. 7 (17), pp. 39-43.
20. Gamayurova V. S., Krynetskaya A. Yu., Astrakhantseva M. N. Vliyaniye EMI KVCh neteplovoy intensivnosti na rost drozhzhey *Saccharomyces cerevisiae* [Influence of EMP EHF of nonthermal intensity on the growth of yeast *Saccharomyces cerevisiae*]. *Zhurnal radioelektroniki* [Journal of Radio Electronics], 2003, no. 3, pp. 4.
21. Sola-Landa A., Rodríguez-García A., Franco-Domínguez E., Martín J. F. Binding of PhoP to promoters of phosphate-regulated genes in *Streptomyces coelicolor*: identification of PHO boxes. *Molecular Microbiology*, 2005, vol. 56, iss. 5, pp. 1373-1385. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2005.04631.x>
22. Benning L. G., Phoenix V. R., Yee N., Konhauser K. O. The dynamics of cyanobacterial silicification: an infrared micro-spectroscopic investigation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, vol. 68, no. 4, pp. 743-757. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(03\)00488-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(03)00488-5)
23. Komarova A. S., Likhacheva A. A., Lapygina E. V., Maksimova I. A., Pozdnyakov A. I. Impact of electromagnetic microwaves on the germination of spores of *Streptomyces xanthochromogenes* in a peat soil and in a liquid nutrient medium. *Eurasian Soil Science*, 2010, vol. 43, no. 1, pp. 72-75. <https://doi.org/10.1134/S1064229310010096>

Бурцева Светлана Антоновна, доктор хабилитат биологических наук, профессор, ИМБ АНМ, тел. (373)79186525, e-mail: burtseva.svetlana@gmail.com

Бырсa Максим Николаевич, доктор, ИМБ АНМ, тел. (373)79306237, e-mail: mellon23@yandex.ru

Чеботарь Виктория Ивановна, младший научный сотрудник, ИМБ АНМ, тел. (373)068-398-931, e-mail: vica.morozinschii@gmail.com

Шибаета Ирина Ивановна, научный сотрудник, ИЭИН, тел. (373 22)72-55-27, e-mail: biomail@mail.ru

Шибаета Александр Юрьевич, ведущий инженер ИЭИН, тел. (373 22)72-55-27, e-mail: alexandr.shibaev2016@yandex.com

Сидоренко Анатолий Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик АНМ, директор Института Электронной Инженерии и Нанотехнологий имени Д. Гицу, научный консультант лаборатории «Функциональные наноструктуры» Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева, тел. (373 22) 73-70-92, e-mail: anatoli.sidorenko@kit.edu