ИЗМЕНЕНИЕ ИНФЕКЦИОННОГО ТИТРА ЧЕРНОМОРСКОГО АЛЬГОВИРУСА МИКРОВОДОРОСЛИ *TETRASELMIS VIRIDIS* ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

О.А. Степанова¹, П.В. Гайский¹, С.А. Шоларь²

¹Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

E-mail: solar-ua@ya.ru

²ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, РФ, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: sa.sholar@mail.ru

В трех экспериментах по изучению влияния постоянного однонаправленного магнитного поля с магнитной индукцией 600 Гс и продолжительностью опытов 24 и 36 ч было установлено, что при низком первоначальном титре штамма TvV-SII альговируса микроводоросли *Tetraselmis viridis* его пребывание 24 ч в магнитном поле приводило к повышению инфекционного титра на один порядок. Однако при пребывании вируса с более высоким инфекционным титром в магнитном поле 24 ч изменений в титре не наблюдалось, а после 36 ч фиксировали его снижение на один порядок. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейших исследований в этом направлении, в том числе с использованием более широкого спектра альговирусов.

Ключевые слова: альговирусы, вирусный инфекционный титр, микроводоросль *Tetraselmis viridis*, постоянное однонаправленное магнитное поле.

Поступила в редакцию: 03.09.2020. После доработки: 26.10.2020.

Введение. Исследователями установлен факт влияния электромагнитных и магнитных полей (ЭМП и МП) на биологические объекты [1]. Это воздействие зависит не только от физических характеристик самих полей, но и от качественных характеристик биологических объектов, сложности их организации и текущего состояния [2]. Поскольку ЭМП сильно поглощаются водой и водными растворами, то для наиболее полного рассмотрения особенностей их влияния на живые организмы важно изучение их воздействия на водные объекты различного уровня организации [3].

Накоплено много данных, указывающих на существование биорегуляторных эффектов ЭМП и свидетельствующих о возможности влияния слабого МП на экспрессию генома в некоторых типах клеток. Эта информация, как и разработанная теория, согласно которой первичным акцептором МП в генетическом аппарате клетки являются белки семейства криптохромов (CRY), известные как репрессоры главного циркадного транскрипционного комплекса CLOCK/BMAL1, описана в обзорной публикации [4]. Полагается, что пред-

ставленный по разработанной теории механизм позволяет МП выполнять функции биорегулятора на генетическом уровне, а опосредованная им биорегуляция может отражаться на состоянии здоровья человека и влиять на эпидемиологические, эволюционные, климатические и другие глобальные процессы в биосфере [5].

Крымская школа магнитобиологии, получившая свое развитие с 60-х годов XX века, и в настоящее время продолжает активные исследования, приводящие к получению новых научных данных о биологической активности низкоинтенсивных ЭМП [6].

В работах некоторых исследователей было выявлено угнетающее воздействие ЭМП и МП на вирусную репродукцию [7, 8]. При этом указывалось, что полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейших исследований в этом направлении, поскольку знания о влиянии ЭМП и МП естественного и искусственного происхождения на биологические объекты, в том числе и на вирусы, представляются актуальными и перспективными как в теоретическом, так и в практическом плане.

На современном этапе в связи с пандемией COVID-19 исследователями путем многочисленных экспериментов была установлена возможность применения низкочастотного МП для лечения инфекций, вызываемых коронавирусом-19 [9]. На основании полученных результатов российские ученые планируют разработать методику уничтожения импульсным МП наиболее опасных картофельных вирусов [10].

Цель исследования – установить влияние постоянного однонаправленного МП на инфекционный титр (изменение концентрации) черноморских альговирусов.

Материалы и методы. Изучение влияния постоянного однонаправленного МП на изменения инфекционного титра черноморских альговирусов проводилось в эксперименте с одним из вирусных штаммов. Использовался штамм

TvV-SI1 альговируса микроводоросли *Tetraselmis viridis* из авторской коллекции. Описание свойств черноморских альговирусов, в том числе и вирусного штамма TvV-SI1, а также процесса вирусного лизиса и его влияния на функционирование клеток хозяина представлено в опубликованных работах [11, 12]. Два штамма черноморского альговируса микроводоросли *T. viridis* были изучены и на генетическом уровне [13].

Экспериментальные исследования выполняли с использованием установки, созданной на базе лаборатории Гидрофизических и биоэлектронных измерительных систем и технологий Центра экологического приборостроения и экоэнергетики Института природно-технических систем (ЛГБИСТ ЦЭПЭ ИПТС). Схематическое изображение созданной установки представлено на рис. 1.

Рис. 1. Равномерное постоянное однонаправленное магнитное поле (порядка 600 Гс), создаваемое между постоянными (в форме дисков) неодимовыми магнитами диаметром 50 мм, закрепленными на стенках из стеклопластика

Fig. 1. Uniform constant unidirectional magnetic field (about 600 Gs), created between permanent (in the form of disks) neodymium magnets with a diameter of 50 mm, fixing on the walls of fiberglass

В основе установки используются два магнитных диска, закрепленные на расстоянии 5 см. Непосредственно между магнитами создается постоянное однонаправленное МП с измеренным зна-

чением магнитной индукции 600 Гаусс (Гс).

Между дисками помещались стеклянные пробирки с вирусной суспензией в объеме 5 мл (опыт) с разным инфекционным титром.

Титр вирусов определялся до и после пребывания в магнитном поле по запатентованной авторской методике путем десятикратного разведения, что описано в работах [11, 14]. Также титр вируса тестировали и в контроле. Контролем служила вирусная суспензия, не подвергавшаяся воздействию МП, но находившаяся во время эксперимента в относительно равных условиях (температура, освещение) с опытной суспензией.

Всего было выполнено три эксперимента. В первых двух экспериментах продолжительностью по 24 ч использовали суспензии альговируса с разными

инфекционными титрами (более низким – 10^3 инфекционных единиц/мл (IE/ml) и более высоким – 10^5 IE/ml). В третьем эксперименте продолжительностью 36 ч использовали вирусную суспензию с титром 10^5 IE/ml.

Результаты и обсуждение. Полученные в проведенных трех экспериментах результаты, отраженные в табл. 1, в двух случаях позволили установить изменение титра используемого в опытах штамма TvV-SI1 альговируса микроводоросли *Tetraselmis viridis* на фоне отсутствия изменений в контроле (вирусная суспензия без воздействия МП).

Таблица 1. Результаты экспериментов по изучению влияния на инфекционный титр одного из штаммов (TvV-SI1) черноморского альговируса микроводоросли *Tetraselmis viridis* одностороннего постоянного магнитного поля с магнитной индукцией 600 Гс и продолжительностью опытов 24 и 36 ч

№ эксперимента	1	2	3
Продолжительность	24 ч	24 ч	36 ч
Первоначальный (до эксперимента) титр альговируса TvV-SI1	10^3 IE/ml	10^5 IE/ml	10^5 IE/ml
Титр альговируса TvV-SI1 в конце опыта	10^4 IE/ml	10^5 IE/ml	10^4 IE/ml
Титр альговируса TvV-SI1 в контроле	10^3 IE/ml	10^5 IE/ml	10^5 IE/ml
Зафиксированное изменение титра после опыта	увеличение в 10 раз	изменений нет	снижение в 10 раз

Полученные в описанных экспериментах результаты имеют неоднозначный характер. Нами предполагается возможное наличие в вирусной суспензии некоторого количества инфицированных, но не лизированных клеток микроводоросли. Иными словами, рассматривается возможный переход лизогении в лизис в клетках микроводоросли [15, 16] при вероятном способствовании МП их росту и развитию, что описано в литера-

туре в отношении некоторых видов микроводорослей, например для *Chlorella vulgaris* [17]. Переход лизогении в лизис сопровождается повышением числа вирусов в среде.

В отношении повышения инфекционного титра, а следовательно и концентрации вирионов в вирусной суспензии в первом эксперименте, можно предположить, что в данном случае эффект увеличения численности вируса происходит

за счет влияния стрессового физического фактора (магнитная индукция) на инфицированные, но еще не лизированные отдельные клетки микроводорослей, что описано в литературе [15]. Так для увеличения концентрации вирусов в ряде случаев исследователи используют различные стрессовые физические (дополнительный свет, нагревание, ультрафиолетовое воздействие и др.) и иные факторы (антибиотики, некоторые химические вещества и пр.) [16]. Также есть сведения и о повышении концентрации морских вирусов после внесения в эксперимент (микрокосм) некоторых загрязнителей – полиароматических гидроуглеродов, полихлорированных бифенилов, пестицидов и других [18, 19]. Факторы, влияющие на численность вирусов, при их воздействии в условиях эксперимента или природы подробно проанализированы в нашем литературном обзоре [20].

Вероятно, что при влиянии магнитной индукции длительностью 24 ч и при относительно низком инфекционном титре используемой вирусной суспензии наблюдается эффект повышения численности вирусов за счет лизиса инфицированных, но еще не разрушенных клеток микроводоросли, которые могли быть в используемой вирусной суспензии.

Снижение инфекционного титра на один порядок (в 10 раз) изучаемого штамма черноморского альговируса после его пребывания в течение 36 ч в МП подтверждает и полученные результаты других исследователей, установивших угнетающее воздействие электромагнитных и магнитных полей на вирусную репродукцию [7–10]. Вероятно, что при созданных условиях последнего третьего эксперимента – относительно высокий инфекционный титр используемого альговируса и длительность опыта – наблюдается эффект угнетения вирусной репродукции магнитной индукцией, создаваемой МП.

Наиболее сложно объяснить результаты второго эксперимента, когда при длительности пребывания альговируса с относительно высоким инфекционным титром в МП 24 ч изменений в концен-

трации при его дальнейшем тестировании не наблюдается. Вероятно, в данном случае происходит одновременное и суммарное подключение и воздействие на вирусную суспензию факторов, описанных для первого и третьего экспериментов, что в итоге проявляется неизменностью вирусного инфекционного титра после опыта, как факта результирующего влияния.

Заключение. Полученные результаты изучения влияния постоянного однонаправленного магнитного поля на штамм альговируса микроводоросли *Tetraselmis viridis* (TvV-SI1) выявили зависимость изменения титра альговируса как от первоначальной концентрации, так и от продолжительности эксперимента воздействия МП.

Для выявления закономерностей необходимо проведение дополнительных экспериментов и исследований в этом направлении, в том числе с использованием более широкого спектра электромагнитного воздействия и альговирусов (вирусов других видов микроводорослей).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПТС № госрегистрации AAAA-A19-119040590054-4 и госбюджетной темы ФИЦ МГИ РАН № госрегистрации AAAA-A18-118012690119-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Взаимодействие живой системы с электромагнитным полем / Р.Р. Асланян, С.В. Тульский, А.В. Григорян [и др.] // Вест. Моск. Ун-та. Сер.16. Биология. 2009. № 4. С. 20–23.
2. Евстропов В.М., Кочеткова Д.М., Столярова О.Ю. Электромагнитное поле и биообъекты: исследовательские подходы // Modern science. 2019. № 12 (2). С. 30–32.
3. Васильева Е.Г. Механизм влияния электромагнитных полей на живые организмы // Вестник АГТУ. 2008. № 3. С. 186–191.
4. Запорожан В.Н., Пономаренко А.И. Механизмы влияния слабого магнитного поля на экспрессию генома: основы физической эпигенетики // Наука та інновації. 2011. Т. 7. № 6. С. 50–69.

5. Trifunovic N. Anomalous Magnetic Fields – Corona Virus Disease Cause // Journal of Pharmacy and Pharmacology. 2020. № 8. P. 182–189.
6. Чуян Е.Н. Крымская школа магнитобиологии // Ученые записки Крымского фед. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2018. Т. 4 (70). № 3. С. 3–14.
7. Влияние магнитного потока на образование вируса гриппа *in ovo* / А.Ф. Фролов, Н.И. Головин, И.В. Булгакова [и др.] // Докл. НАНУ. 2004. № 5. С. 193–196.
8. Влияние электромагнитных полей в диапазонах сверхдлинных волн на рост микроорганизмов и репродукцию вирусов / Б.Р. Богомольный, В.П. Барзинский, Т.Л. Гридина [и др.] // Проблеми інноваційно-інвестиційного розвитку. 2014. № 6. С. 165–177.
9. Niknamian S. Introducing covid-19 as an evolutionary metabolic infectious disease (EMID). The prime cause and representing alternative treatment for Covid-19 (SARScov-2) // Clinical Case Reports and Reviews. 2020. Vol. 6. P. 2–7.
10. Самарские ученые разрабатывают способ лечения картофеля от вирусов <https://samaragis.ru/samarskie-uchenye-razrabatyvajut-sposob-lechenija-kartofelja-ot-virusov/> (дата обращения 21.10.2020).
11. Stepanova O.A. Black Sea algal viruses // Russian Journal of Marine Biology. 2016. Vol. 42. № 2. P. 123–127.
12. Stelmakh L.V., Stepanova O.A. Effect of viral infection on the functioning and lysis of Black Sea microalgae *Tetraselmis viridis* (Chlorophyta) and *Phaeodactylum tricornutum* (Bacillariophyta) // Inland Water Biology. 2020. Vol. 13. № 3. P. 417–424.
13. Степанова О.А., Бойко А.Л., Щербатенко И.С. Компьютерный анализ геномов трех морских альговирусов // Микробиологический журнал. 2013. Т. 75. № 5. С. 76–81.
14. Степанова О.А. Способ изоляции альговирусов одноклеточных водорослей, например *Platymonas viridis* Rouch (Chlorophyta) // Патент Украины № 65864. 2004. Бюл. № 4.
15. Wommack K.E., Colwell R.R. Virioplankton: Viruses in aquatic ecosystems // Microbiol. Mol. Biol. Rev. 2000. Vol. 64. № 1. P. 69–114.
16. Макиров К.А. Микробиология, вирусология и иммунология. Алма-Ата: Казахстан. 1974. 372 с.
17. Effects of Magnetic Field on the Antioxidant Defense System of Recirculation-Cultured *Chlorella vulgaris* / Hai-Ying Wang, Xiao-Bo Zeng, Si-Yuan Guo [et al.] // Bioelectromagnetics. 2008. Vol. 29. № 1. P. 39–46.
18. Cochran P.K., Kellogg C.A., Paul J.H. Prophage induction of indigenous marine lysogenic bacteria by environmental pollutants // Mar. Ecol. Progr. Ser. 1998. 164. P. 125–133.
19. Danovaro R. Impact of pollution on marine viruses, benthic viral production and lysogeny// Ecology of marine viruses (Banyuls-sur-mer, 19–22 March 2003). Monaco, 2003. P. 45–46. (CIESM Workshop Monographs No 21)
20. Степанова О.А. Некоторые сведения о виропланктоне и его отдельных представителях // Успехи современной биологии. 2005. Т. 125. № 6. С. 543–555.

CHANGES IN INFECTIOUS TITER OF BLACK SEA ALGAL VIRUS OF THE MICROALGAE *TETRASELMIS VIRIDIS* UNDER THE INFLUENCE OF A CONSTANT MAGNETIC FIELD

O.A. Stepanova¹, P.V. Gaisky¹, S.A. Sholar²

¹Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

²FRC Marine Hydrophysical Institute of RAS, RF, Sevastopol, Kapitanskaya St., 2

In three experiments aimed at studying the effect of a constant magnetic field with a magnetic induction of 600 G and a duration of experiments of 24 and 36 h, it was found that with a low initial titer of the algal virus of the microalgae *Tetraselmis viridis*, its stay in a magnetic field for 24 h led to an increase in the infectious titer by one order of magnitude. However, when the virus with a higher infectious titer was in a magnetic field for 24 h, no changes in the titer were observed, and after 36 h, its decrease by one order of magnitude was recorded. The results obtained indicate the need for further research in this direction, with using a wider range of algal viruses.

Keywords: algal viruses, vital infectious titer, microalga *Tetraselmis viridis*, constant unidirectional magnetic field.