

УДК 577.35. 57.08. 578.4 (262.5)

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИНФЕКЦИОННЫЙ ТИТР ЧЕРНОМОРСКИХ АЛЬГОВИРУСОВ

© 2022 г. О.А. Степанова*, П.В. Гайский**, С.А. Шоларь**

*Институт природно-технических систем РАН, Севастополь, 299011, ул. Ленина, 28

E-mail: solar-ua@ya.ru

**ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, 299011, ул. Капитанская, 2

E-mail: gaysky@inbox.ru, sa.sholar@mail.ru

Поступила в редакцию 11.07.2021 г.

После доработки 18.12.2021 г.

Принята к публикации 21.12.2021 г.

Экспериментальным путем изучены изменения инфекционного титра штаммов черноморских альговирусов трех видов микроводорослей (*Tetraselmis viridis* — штамм TvV-S21-1, *Dunaliella viridis* — штамм DvV-S20-1 и *Phaeodactylum tricornutum* — штамм PtV-S20-1) после их пребывания в постоянном однонаправленном магнитном поле с магнитной индукцией 60 мТл. Исследования проводили с помощью разработанной лабораторной установки при продолжительности опытов от 24–72 ч до шести-восьми суток. Зафиксировано снижение инфекционного титра альговирусов после магнитной нагрузки на один-два порядка (в 10–100 раз).

Ключевые слова: черноморские альговирусы микроводорослей *Tetraselmis viridis*, *Dunaliella viridis* и *Phaeodactylum tricornutum*; постоянное однонаправленное магнитное поле; вирусный инфекционный титр.

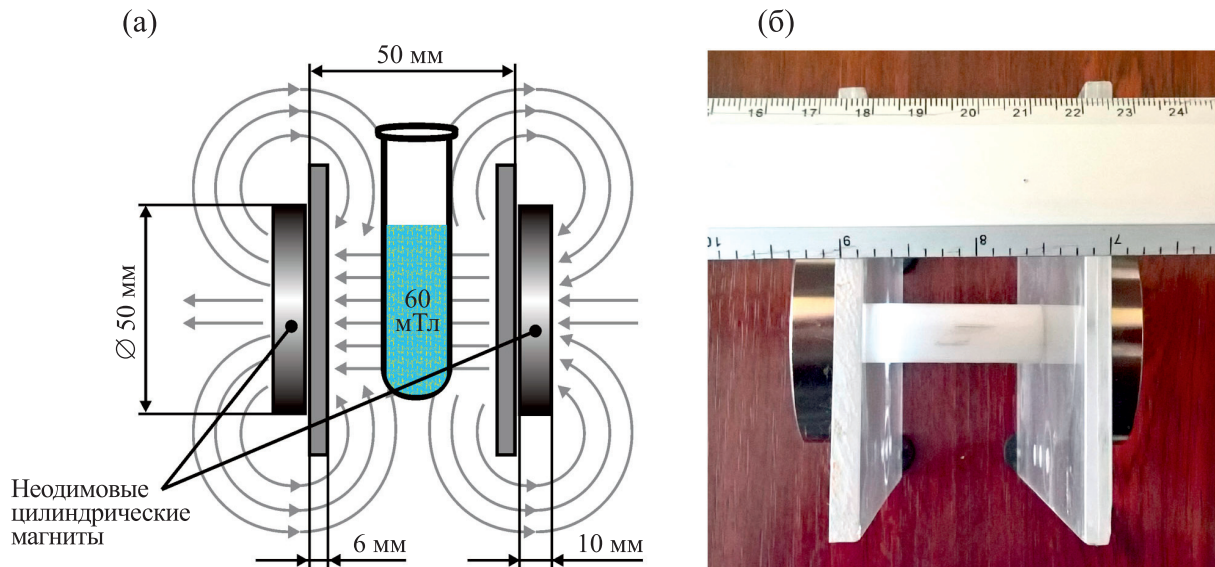
DOI: 10.31857/S0006302922020065

Бурное развитие с конца XX века молодой науки — морской (водной) вирусологии — обозначило ряд новых направлений, краткое описание которых было представлено в нашей публикации [1]. И хотя значение природных водных (морских) вирусов, самых многочисленных среди гидробионтов, в экологии гидросферы нашей Планеты не подвергается сомнениям, оно изучено пока недостаточно, а актуальность исследований в этом направлении продолжает расти. По мнению ученых, понимание роли вирусов в цикле органического углерода в гидросфере и в процессах функционирования морских пищевых цепей, как и в биоразнообразии одноклеточных гидробионтов — хозяев водных (морских) вирусов — служит основой для оценки стабильности морских экосистем и увеличивает предсказуемость воздействий глобальных изменений на биогеохимические процессы в Мировом Океане [2]. Так, роль вирусов гидросферы в экологии нашей Планеты четко обозначена уже в названии одной из работ канадского ученого — «Морские вирусы — основные (главные) игроки в глобальной экосистеме» [3].

Логично утверждать, что изменения в вирусных сообществах водоемов, которые могут быть вызваны различными биотическими и, в особенности, абиотическими факторами, ввиду мас-

штабности численности и распространенности водных (морских) вирусов будут приводить к непредсказуемым последствиям с учетом их каскадного воздействия на биогеохимические циклы, пищевые сети и метаболический баланс Мирового Океана [4, 5].

Одной из задач в изучении экологии водных вирусов является анализ воздействий экологических факторов на вирусную составляющую гидросферы, в том числе и на ее отдельных представителей [1, 4]. Известно, что в естественных условиях любой биологический объект находится в повсеместном геомагнитном поле, основу которого составляет относительно стабильное постоянное магнитное поле (35 — 65 мкТл), изменения которого (геомагнитные вариации) могут быть вызваны воздействием потока солнечной плазмы (солнечного ветра), усиливающейся в годы повышения активности Солнца [6, 7]. В наших исследованиях была впервые установлена негативная корреляция между численностью морских вирусов черноморского виروпланктона и индексом солнечной активности, что, по всей видимости, отражает причинно-следственные связи, обусловленные в том числе действием повышенного в годы активного Солнца ультрафиолетового фона и увеличения значений геомагнитных вариаций на примере геомагнитного индекса A_p [8, 9].



(а) — Схема разработанной на базе лаборатории гидрофизических и биоэлектронных измерительных систем и технологий Центра экологического приборостроения и экоэнергетики Института природно-технических систем лабораторной установки, создающей искусственное постоянное магнитное поле с магнитной индукцией 60 мТл; (б) — фотография лабораторной установки.

По литературным данным известно о влиянии постоянного магнитного и переменного электромагнитного поля на репродукцию вирусов, на чем основаны и некоторые предложения по практическому применению этого физического фактора [10–14]. Поскольку сведений о влиянии магнитного поля на представителей морской вирусной составляющей и в том числе на черноморские альговирусы недостаточно, наши первые исследования были посвящены выявлению факта ответной реакции по оценке инфекционного титра черноморского альговируса микроводоросли *Tetraselmis viridis* (штамм TvV-S11) на дополнительную магнитную нагрузку в условиях эксперимента [15]. Полученные результаты свидетельствовали о снижении инфекционного титра используемого в опыте штамма альговируса под воздействием магнитной нагрузки.

Целью наших дальнейших исследований, результаты которых представлены в данном сообщении, явилось изучение влияния магнитной нагрузки (постоянного однонаправленного магнитного поля) разной продолжительности на инфекционные титры штаммов альговирусов трех видов черноморских микроводорослей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Влияние однонаправленного постоянного магнитного поля на вирусный титр черноморских альговирусов изучали экспериментальным путем с использованием лабораторной установки, созданной на базе лаборатории гидрофизических и

биоэлектронных измерительных систем и технологий Центра экологического приборостроения и экоэнергетики Института природно-технических систем [15].

Основа лабораторной установки — два жестко закрепленных на расстоянии 5 см неodyмовых магнитных диска (диаметром 50 мм и высотой 10 мм), между которыми создается постоянное однонаправленное магнитное поле с измеренным значением магнитной индукции 60 мТл. В пространстве между магнитными дисками размещали исследуемые (опытные) образцы изучаемых вирусных суспензий в стеклянных бактериологических пробирках в объеме по 2.0 мл. Пребывание исследуемого материала в магнитном поле составляло от 24–48 ч до 6–8 суток. В качестве контроля (без магнитной нагрузки) были использованы образцы вирусных суспензий, размещенные в условиях освещенности и температуры, идентичных с таковыми в условиях эксперимента.

Схема и фотография разработанной лабораторной установки, создающей искусственное постоянное магнитное поле, представлены на рис. 1.

С учетом того, что в проведенных и описанных ранее экспериментах [15] предполагалось, что в вирусной суспензии возможно содержание инфицированных, но еще не лизированных клеток хозяина (микроводоросли), используемые вирусные суспензии подвергали очистке от крупных частиц (не лизированных клеток) путем ультрафильтрации через нитроцеллюлозные фильтры фирмы Sartorius (Германия) с диаметром пор

Показатели инфекционного титра трех черноморских альговирюсов культур микроводорослей *Tetraselmis viridis* (штамм TvV-S21-1), *Dunaliella viridis* (штамм DvV-S20-1) и *Phaeodactylum tricornutum* (штамм PtV-S20-1)

Штамм изучаемого альговирюса		Длительность пребывания вирусной суспензии изучаемого штамма альговирюса в магнитном поле (опыт) и инфекционный титр в IE/мл				Изменения инфекционного титра в опыте по сравнению с контролем
		24 ч	48 ч	72 ч	6–8 суток	
TvV-S21-1	Опыт	н/и	10 ³	10 ²	н/и	Снижение в 10 и в 100 раз через 48 и 72 ч
	Контроль	н/и	10 ⁴	10 ⁴	н/и	
DvV-S20-1	Опыт	10 ⁶	н/и	10 ⁵	10 ⁵	Снижение в 10 и в 100 раз через 24, 72 ч и 6–8 суток
	Контроль	10 ⁷	н/и	10 ⁷	10 ⁷	
PtV-S20-1	Опыт	10 ⁶	н/и	10 ⁴	10 ⁴	Снижение в 100 раз через 72 ч и 6–8 суток
	Контроль	10 ⁶	н/и	10 ⁶	10 ⁶	

Примечание: н/и – исследования не проводили.

300 нм. Таким образом, в методическую часть экспериментов, описанных ранее [15], была внесена корректировка. Ультрафильтрацию вирусных суспензий, в дальнейшем используемых как для опытных, так и для контрольных образцов, выполняли с использованием стерильной установки – шприца и фильтродержателя с нитроцеллюлозными фильтрами.

Для титрования (определения инфекционного титра), в основе которого лежит десятикратное разведение опытных и контрольных образцов суспензий альговирюсов, как описано в работе [16], применяли три жидкие культуры черноморских микроводорослей: *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen, R.E. Norris, Hori & Chihara, 1980), *Dunaliella viridis* (Teodoresco, 1905) и *Phaeodactylum tricornutum* (Bohlin, 1897). Культуры были получены из отдела экологической физиологии водорослей ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН».

В проводимых экспериментах использовали вирусные суспензии альговирюсов из авторской коллекции [16] – альговирюс микроводоросли *T. viridis* (штамм TvV-S21-1), *D. viridis* (штамм DvV-S20-1) и *P. tricornutum* (штамм PtV-S20-1). Морфология, электронные фото и свойства этих черноморских альговирюсов, как и данные анализа секвенированных геномов некоторых вирусных штаммов, описаны в работах [16, 17].

Для каждого штамма используемых альговирюсов было проведено по два и более экспериментов: два эксперимента для штамма альговирюса *T. viridis* и по четыре эксперимента – для штаммов альговирюсов микроводорослей *D. viridis* и *P. tricornutum*, так как в период пребывания в магнитном поле в течение шести-восьми суток было выполнено по два эксперимента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты экспериментов по изучению изменения инфекционного титра черноморских альговирюсов микроводорослей *T. viridis* (TvV-S21-1), *D. viridis* (DvV-S20-1) и *P. tricornutum* (PtV-S20-1) представлены в таблице.

Как можно видеть по представленным данным, в контрольных экспериментах для исследований были использованы альговирюсы с разными первоначальными инфекционными титрами – 10⁴, 10⁶ и 10⁷ инфекционных единиц в 1 мл (IE/мл) соответственно для штаммов TvV-S21-1, PtV-S20-1 и DvV-S20-1. Такие значения инфекционных титров, используемых в экспериментах с черноморскими альговирюсами, приближены к природным значениям в сезоны пика их численности [16]. Ранее было установлено, что в сохраняемых вирусных суспензиях инфекционные титры в условиях комнатной температуры и освещенности, что соответствует этим же условиям в проводимых экспериментах в контроле и идентично условиям в опытах, обычно не меняются в течение одного и более месяцев [16]. Однако после пребывания в магнитном поле в течение 24 ч у альговирюса микроводоросли *D. viridis* (штамм DvV-S20-1) выявлено снижение инфекционного титра в 10 раз (на один порядок), а после 72 ч магнитной нагрузки – в 100 раз (на два порядка). Дальнейшее воздействие магнитного поля в пределах шести-восьми суток не вызывало снижения инфекционного титра, который оставался на уровне 10⁵ IE/мл, как и после 72 ч воздействия.

Для штамма TvV-S21-1 альговирюса микроводоросли *T. viridis* отмечалось снижение инфекционного титра в 10 и 100 раз через 48 и 72 ч соответственно. Определение инфекционного титра после магнитной нагрузки через 24 ч, а также че-

рез шесть-восемь суток для этого альговируса не проводили.

Отсутствие изменений в инфекционном титре было зафиксировано для штамма PtV-S20-1 альговируса микроводоросли *P. tricornutum* через 24 ч пребывания в магнитном поле. Исследования через 48 ч не проводили. Однако через 72 ч магнитной нагрузки наблюдали снижение инфекционного титра у штамма PtV-S20-1 на два порядка (в 100 раз). Такое же значение снижения инфекционного титра (в 100 раз по сравнению с контролем) было и после шести суток.

Таким образом, зафиксировано, что через 24–48 ч пребывания в постоянном магнитном поле с магнитной индукцией 60 мТл инфекционный титр изучаемых черноморских альговирусов снижается на один порядок для DvV-S20-1 и TvV-S21-1 и не изменяется для PtV-S20-1. Более длительное воздействие магнитного поля (72 ч и более) приводит к снижению инфекционного титра на два порядка (для DvV-S20-1 и PtV-S20-1).

Полученные нами результаты, указывающие на роль магнитного поля в снижении инфекционного титра у природных черноморских альговирусов, не противоречат данным других исследователей, выявивших угнетающее воздействие магнитных и электромагнитных полей на вирусную репродукцию [10, 11]. Также учеными зафиксирован тот факт, что некоторые эффекты воздействия магнитного поля с увеличением магнитной индукции могут не отличаться от данных контрольных образцов без магнитной нагрузки [18], что близко соответствует и нашим наблюдениям о неизменности инфекционного титра альговирусов после 72 ч при увеличении продолжительности магнитной нагрузки (шесть-восемь суток).

Влияние магнитных полей на биологические системы и объекты известно со времен Гиппократа, их чудодейственные свойства описаны еще врачами Древнего Китая, Индии и Египта [19]. Накопленные знания о воздействии магнитных и электромагнитных полей на представителей биосферы разной степени организованности — от микроорганизмов и вирусов до высших позвоночных — позволили установить ряд новых для науки фактов. Однако полученные учеными результаты свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших исследований, поскольку знания о воздействии магнитных и электромагнитных полей на биологические объекты, в том числе и на вирусы, представляются актуальными и перспективными как в теоретическом, так и в практическом плане [6, 10–15, 18–22].

По мнению исследователей [23–25] магнитное поле может влиять на вероятность образования пероксирадикала в биологических системах, из-

менение концентрации которого приводит к изменению концентраций активных форм кислорода (АФК), вовлеченных в формирование отклика биологической системы на внешнее магнитное воздействие и запускающих биологические механизмы, приводящие к изменению метаболизма. Известно, что активные формы кислорода являются триггерными молекулами для многих биологических процессов. Управляя их концентрацией посредством слабого внешнего магнитного поля, можно влиять на ключевые звенья метаболизма. Таким образом, перекись водорода и другие активные формы кислорода, которые образуются в результате действия магнитного поля, следует рассматривать как повреждающие факторы на биологическую составляющую, в том числе и на морские вирусы (альговирусы).

Об антивирусной активности микроэлементов в низкой степени окисления есть информация и в недавно опубликованном обзоре [26], где механизм противовирусного действия микроэлементов объясняется подавлением электростатического взаимодействия вируса (его адсорбционной способности) с клеткой путем нейтрализации зарядов на поверхности вируса и клетки. Авторы обзорной статьи предполагают возможность использования микроэлементов в низкой степени окисления для лечения вирусных инфекций, поскольку «многие потенциальные мишени, недоступные для антител и других больших молекул, легко доступны для микроэлементов».

В настоящий момент особый интерес в связи с разразившейся вирусной пандемией Covid-19 представляют исследования о роли магнитных и электромагнитных полей в изменении репродукции вирусов [10–14, 26]. Актуальность получаемых при этом результатов заключается не только в том, что такие знания могут служить основанием для новых научных гипотез, объясняющих активизацию вирусных процессов на нашей Планете, но и содействовать разработке новых методов профилактики и борьбы с вирусными заболеваниями, применяя доступные физические способы угнетения вирусной репродукции [26–28]. Поэтому, исходя из насущной ситуации вирусной пандемии Covid-19 и предполагаемой активизации других вирусных инфекций на нашей Планете [27, 28], проводимые исследования по изучению воздействия магнитной нагрузки на вирусный титр природных морских вирусов (альговирусов) являются актуальными. Они будут продолжены с применением в экспериментах более широкого спектра способов электромагнитного воздействия и более широкого круга альговирусов (вирусов других видов микроводорослей).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальным путем изучено изменение инфекционного титра штаммов черноморских альговирусов трех видов микроводорослей (*Tetraselmis viridis* — штамм TvV-S21-1, *Dunaliella viridis* — штамм DvV-S20-1 и *Phaeodactylum tricornutum* — штамм PtV-S20-1) после их пребывания в постоянном однонаправленном магнитном поле с магнитной индукцией 60 мТл.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенных экспериментов установлено следующее:

1. Через 24–48 ч магнитной нагрузки у изучаемых черноморских альговирусов инфекционный титр снижается на один порядок (для DvV-S20-1 и TvV-S21-1), либо не изменяется (для PtV-S20-1);
2. Более длительное воздействие магнитного поля (72 ч и более) приводит к снижению инфекционного титра на два порядка (для DvV-S20-1 и PtV-S20-1);
3. Установлено, что после 72 ч магнитной нагрузки при дальнейшем увеличении ее продолжительности (до шести-восьми суток) отмечается неизменность (стабильность) инфекционного титра альговирусов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания по госбюджетной теме ИПТС № 0012-2019-0003 «Разработка новых средств и измерительных информационных технологий исследований природных вод» и темат ФИЦ МГИ РАН № 0555-2021-0004 «Океанологические процессы» и № 0555-2021-0003 «Оперативная океанология».

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая работа не содержит описания каких-либо исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S. A. Sholar and O. A. Stepanova, Biophysics **66** (2), 182 (2021).
2. Proposal for SCOR WG to investigate the role of viruses in marine ecosystems, in Proc. Sci. Comm. Ocean. Res. (Baltimore, 2005), Vol. 40, pp. 66–70 (Annex 4).
3. C. A. Suttle, Nature Rev. Microbiol. **5**, 801 (2007).
4. О. А. Степанова, Системы контроля окружающей среды, № 12 (32), 99 (2018).
5. R. Danovaro, C. Corinaldesi, A. Dell'anno, et al., FEMS Microbiol. Rev. **35** (6), 993 (2011).
6. В. В. Новиков, Дис. ... д-ра биол. наук (ИБК РАН, М., 2005).
7. Б. М. Владимирский и Н. А. Темурьянц, Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу (МНЭПУ, М., 2000).
8. О. А. Степанова и Г. Г. Пантелеева, в сб. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу (Севастополь, 2005), № 12, сс. 632–636.
9. О. А. Степанова, Отклик вирусной составляющей на факторы среды (LAP Lambert Acad. Publ., Saarbrücken, 2017).
10. А. Ф. Фролов, Н. И. Головин и И. В. Булгакова, Докл. НАНУ, № 5, 193 (2004).
11. Б. Р. Богомольный, В. П. Барзинский, Т. Л. Грдина и др., Проблемы інноваційно-інвестиційного розвитку, № 6, 165 (2014).
12. Ю. В. Загородный, И. В. Бейко и А. Л. Бойко, Докл. НАНУ, № 5, 130 (1995).
13. <https://samaragis.ru/samarskie-uchenyje-razrabatyvajut-sposob-lechenija-kartofelja-ot-virusov>
14. S. Niknamian, Clin. Case Rep. Rev. **6**, 2 (2020).
15. О. А. Степанова, П. В. Гайский и С. А. Шоларь, Системы контроля окружающей среды, № 4 (42), 171 (2020).
16. O. A. Stepanova, Russ. J. Mar. Biol. **42** (2), 123 (2016).
17. O. A. Stepanova, A. L. Boiko, and I. S. Shcherbatenko, Mikrobiologich. Zh. **75** (5), 76 (2013).
18. V. V. Novikov, E. V. Yablokova, I. A. Shaev, et al., Biophysics **65** (3), 443 (2020).
19. И. В. Сысоева, Медицинские новости, № 4, 21 (2005).
20. R. R. Aslanyan, S. V. Tulsy, A. V. Grygoryan, et al., Moscow Univ. Biol. Sci. Bull. **64**, 153 (2009).
21. В. М. Евстропов, Д. М. Кочеткова и О. Ю. Столярова, Modern science, № 12 (2), 30 (2019).
22. H. Y. Wang, X. B. Zeng, S. Y. Guo, et al., Bioelectromagnetics **29** (1), 39 (2008).
23. В. О. Пономарев, Дис. ... канд. физ.-мат. наук (ИБК РАН, М., 2009).
24. В. О. Пономарев и В. В. Новиков, Биофизика **54** (2), 235 (2009).
25. В. В. Новиков, Е. В. Яблокова и Н. И. Новикова. Актуальные вопросы биологической физики и химии, 3 (1), 23 (2018).
26. В. Г. Каплуненко, Н. В. Косинов и А. В. Скальный, Микроэлементы в медицине **22** (1), 3 (2021).
27. <https://supermagnit.net/news/magnitnoe-pole-i-virus-grippa---kakaya-svyaz>
28. <https://www.business-gazeta.ru/article/485288>

Influence of a Constant Magnetic Field on the Infectious Titer of the Black Sea Algal Viruses

O.A. Stepanova*, P.V. Gaisky, and S.A. Sholar****

**Institute of Natural and Technical Systems, Russian Academy of Sciences, ul. Lenina 28, Sevastopol, 299011 Russia*

***Federal Research Center «Marine Hydrophysical Institute of RAS», Kapitanskaya ul. 2, Sevastopol, 299011 Russia*

The change in the infectious titer of strains of the Black Sea algal viruses of three species of microalgae (*Tetraselmis viridis* – strain TvV-S21-1, *Dunaliella viridis* – strain DvV-S20-1 and *Phaeodactylum tricornutum* – strain PtV-S20-1) after their staying in a constant unidirectional magnetic field with a magnetic induction of 60 mTl was studied experimentally. The studies were carried out in a developed laboratory installation with the duration of experiments from 24–72 h to 6–8 days. A decrease in the infectious titer of algal viruses was recorded after magnetic load by 1–2 orders (10–100 times).

Keywords: Black Sea algal viruses of microalgae Tetraselmis viridis, Dunaliella viridis and Phaeodactylum tricornutum, viral infectious titer, constant unidirectional magnetic field