

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
НА МОРСКУЮ МИКРОБИОТУО.А. Степанова¹, С.А. Шоларь^{1,2}, М.Н. Пеньков¹

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

Изучено влияния электромагнитного поля на некоторые характеристики морской микробиоты: инфекционный титр черноморских альгивирусов и чувствительность (устойчивость) к вирусному лизису культур черноморских микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Dunaliella viridis*. Исследования выполняли в разработанной на базе Института природно-технических систем лабораторной установке, позволяющей создавать электромагнитное воздействие с частотой в диапазоне 25–150 Гц и генерировать переменное магнитное поле 0,1–0,545 Гс. Под воздействием электромагнитной нагрузки установлено снижение инфекционного титра у альгивирусов и повышение устойчивости (снижение чувствительности) к вирусному лизису у микроводорослей на 1–2 порядка.

Ключевые слова: электромагнитное поле (ЭМП), черноморские альгивирусы, микроводоросли *Tetraselmis viridis*, *Dunaliella viridis*.

Поступила в редакцию: 23.03.2023. После доработки: 24. 04.2023

Введение. Природные электрические, магнитные и электромагнитные поля оказывают на живые организмы регулирующие действие, способствуя нормализации процессов жизнедеятельности, оптимизации их взаимодействия с внешней средой, что эволюционно обусловлено. Роль естественного геомагнитного поля Земли крайне важна для всех групп живых организмов. При полной или частичной его изоляции в лабораторных условиях наблюдаются негативные явления у разных организмов, включая и одноклеточных. Учеными подчеркивается, что искусственные поля (электромагнитные – ЭМП, магнитные и электрические нагрузки) могут изменять различные характеристики живых организмов, влияя на их жизнедеятельность, жизнеспособность и витальность как положительно, так и отрицательно. Обзор и анализ имеющейся информации по данному научному направлению широко представлены во многих работах [1–5]. Исследователями отмечается, что действие искусственных полей (ЭМП, магнитных и электрических нагрузок) может вызывать изменения различных характеристик живых организмов, эволю-

ционно адаптированных только к природным излучениям (естественным полям). Этот факт подтверждается многочисленными экспериментами, включая и наши, в которых было зафиксировано влияние постоянного магнитного поля на изменение инфекционного титра черноморских альгивирусов и на устойчивость (чувствительность) культур микроводорослей к вирусному лизису [6, 7].

Ученые отмечают и многие неизученные вопросы в проблеме воздействия искусственных ЭМП и других излучений на представителей биосферы Земли, в т.ч. и на микро и нано биообъекты (микроводоросли, вирусы), и указывают на необходимость продолжения исследований в этом направлении [1–5, 8–15]. Актуальность данной проблемы усиливается с позиции наблюдений, свидетельствующих о замедлении движения земного ядра, что может приводить к изменениям других геофизических характеристик, в т.ч. и магнитного поля нашей Планеты [16].

Целью проведенной работы явилось экспериментальное изучение влияния переменного электромагнитного поля на морскую микробиоту (суспензии черно-

морских альговирюсов и жидкие культуры черноморских микроводорослей) с использованием лабораторной установки, разработанной на базе Института природно-технических систем.

Материалы и методы. Лабораторная установка, создающая электромагнитное поле (ЭМП), была разработана на базе Лаборатории гидрофизических и биоэлектронных измерительных систем и технологий Центра экологического приборостроения и экоэнергетики Института природно-технических систем (ИПТС). Установка подробно описана, в т.ч. и в плане создания ЭМП с заданными по усмотрению экспериментаторов характеристиками, а также методики проведения экспериментов, в ранее опубликованной нашей научной группой статье [17].

В основном эксперименты проводили как с минимальной частотой 25 Гц и уровнем сигнала 24 мВ ($B = 0,1$ Гс), так и с максимальной частотой 150 Гц и уровнем сигнала 100 мВ ($B = 0,11$ Гс).

В качестве исследуемого биологического материала – морской микробиоты – были использованы культуры микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Dunaliella viridis*, а также штаммы альговирюсов к этим микроводорослям – TvV-SI-1 и DvV-S20-1.

Жидкие культуры микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Dunaliella viridis* были получены в 2020–2021 гг. из коллекции живых культур микроводорослей отдела экологической физиологии водорослей ФИЦ “ИнБИОМ им. А.О. Ковалевского РАН”. По настоящее время культуры поддерживаются путем пассивирования в стабилизирующей среде Гольдберга в лабораторных условиях на базе ИПТС.

Свойства черноморских альговирюсов, как новых для науки вирусюсов, были изучены нами ранее и описаны в [18]. Изменения инфекционного титра использованных в экспериментах штаммов альговирюсов, а также изменения чувствительности (устойчивости) культур микроводорослей к вирусному лизису определяли по методике (схеме), описанной в [6, 7, 17].

Результаты и их обсуждение. Результаты, полученными в ходе проведения экспериментов по изучению влияния ЭМП на инфекционный титр альговирюсов и чувствительность (устойчивость) их хозяев – культур микроводорослей к вирусному лизису, было зафиксировано снижение инфекционного титра у исследуемых штаммов альговирюсов до 1–2 порядков, и увеличение до 1–2 порядков устойчивости (чувствительности, сенситивности) культур микроводорослей к вирусному лизису. Данные, полученные в экспериментах, отражены в табл. 1–3.

Первоначальный инфекционный титр используемых вирусных штаммов соответствует представленным в таблицах показаниям инфекционного титра в контролях. Так ранее эмпирическим путем было определено, что инфекционные титры альговирюсов при стабильных условиях их сохранения, например при комнатном освещении и температуре, не меняются на протяжении не менее 2–3 месяцев [18].

По данным табл. 1 у штамма альговирюса микроводоросли *Tetraselmis viridis* (TvV-SI-1) при воздействии ЭМП с частотой 25 Гц и уровнем сигнала 24 мВ ($B = 0,1$ Гс) отмечалось снижение инфекционного титра на 2 порядка уже через 24 ч при первоначальном его титре 10^{11} IE/ml. Облучение этого вирусного штамма ЭМП с заданными характеристиками 150 Гц и 100 мВ (табл. 2), но с первоначальным инфекционным титром 10^4 IE/ml, также приводило к снижению титра на 2 порядка. И при этом изучение изменения инфекционного вирусного титра выполняли после 72 ч электромагнитной нагрузки.

У штамма альговирюса микроводоросли *Dunaliella viridis* (DvV-S20-1) при воздействии ЭМП с частотой 25 Гц и уровнем сигнала 24 мВ ($B = 0,1$ Гс) фиксировали отсутствие изменений инфекционного титра через 24 ч при использовании вирусной суспензии с первоначальным инфекционным титром 10^9 IE/ml и 10^7 IE/ml. Снижение титра на 1 порядок (с 10^7 до 10^6 IE/ml) наблюдали после 72 ч электромагнитной нагрузки.

Однако при его первоначальном титре 10^5 IE/ml через 24 ч отмечали снижение на 1 порядок, а через 4 суток на 2 порядка. Данные отражены в табл. 1.

Применение в экспериментах ЭМП с иными характеристиками – частотой

150 Гц и уровнем сигнала 100 мВ ($B = 0,11$ Гс), что отражено в табл. 2, позволило зафиксировать у штамма DvV-S20-1 снижение инфекционного титра на 2 порядка через 5 суток при первоначальном титре 10^5 IE/ml.

Таблица 1. Результаты изучения влияния ЭМП 25 Гц и 24–26 мВ на инфекционные титры черноморских альговирусов TvV (штамм TvV-SI-1) и DvV (штамм DvV-S20-1)

Штамм изучаемого альговируса		Длительность пребывания вирусной суспензии изучаемого штамма альговируса в ЭМП (опыт) и инфекционный титр в IE/ml			Изменения инфекционного титра в опыте по сравнению с контролем
		24 ч	72 ч	4–6 суток	
TvV-SI-1	опыт	10^9	н/и	н/и	Снижение на 2 порядка через 24 ч при первоначальном титре 10^{11}
	<i>контроль</i>	10^{11}	н/и	н/и	
DvV-S20-1	опыт	10^9	н/и	н/и	Через 24 ч изменений при первоначальном титре 10^9 нет
	<i>контроль</i>	10^9	н/и	н/и	
	опыт	10^7	10^6	6 суток 10^6	Снижение на 1 порядок через 72 ч и 6 суток при первоначальном титре 10^7
	<i>контроль</i>	10^7	10^7	10^7	
	опыт	10^4	10^4	4 суток 10^3	Снижение на 1 порядок через 24 ч и 72 ч, и на 2 порядка через 96 ч при первоначальном титре 10^5
	<i>контроль</i>	10^5	10^5	10^5	

Обозначения: н/и – исследования не проводили.

Таблица 2. Результаты изучения влияния ЭМП 150 Гц и 100 мВ на инфекционные титры черноморских альговирусов DvV (штамм DvV-S20-1) и TvV (штамм TvV-SI-1)

Штамм изучаемого альговируса		Длительность пребывания вирусной суспензии изучаемого штамма альговируса в ЭМП (опыт) и инфекционный титр в IE/ml				Изменения инфекционного титра в опыте по сравнению с контролем
		24 ч	48 ч	72 ч	4–6 суток	
DvV-S20-1	опыт	10^6	10^6	10^6	н/и	Без изменений при первоначальном титре 10^6
	<i>контроль</i>	10^6	10^6	10^6	н/и	
	опыт	н/и	н/и	н/и	5 суток 10^3	Снижение на 2 порядка через 5 суток при первоначальном титре 10^5
	<i>контроль</i>	н/и	н/и	н/и	10^5	
TvV-SI-1	опыт	н/и	н/и	10^2	н/и	Снижение на 2 порядка через 72 ч при первоначальном титре 10^4
	<i>контроль</i>	н/и	н/и	10^4	н/и	

Таблица 3. Влияние ЭМП 25 Гц и 24–26 мВ на чувствительность (устойчивость) культур микроводорослей *Tetraselmis viridis* (Tv) и *Dunaliella viridi* (Dv) к вирусному лизису по сравнению с контролем (без электромагнитной нагрузки)

Штамм изучаемого альговируса при контакте с культурой микроводоросли после электромагнитной нагрузки (ЭМП, опыт) и без нее (контроль)		Длительность пребывания культуры в ЭМП (опыт) и вирусный инфекционный титр в IE/ml в опыте и контроле		Изменения инфекционного титра в опыте по сравнению с контролем
		24 ч	72 ч	
TvV-SI-1 + Tv	опыт	10 ⁹	н/и	Снижение на 2 порядка через 24 ч
	<i>контроль</i>	10 ¹¹	н/и	
DvV-S20-1 + Dv	опыт	н/и	10 ⁵	Снижение на 1 порядок через 72 ч
	<i>контроль</i>	н/и	10 ⁶	
	опыт	10 ⁴	н/и	Снижение на 1 порядок через 24 ч
	<i>контроль</i>	10 ⁵	н/и	

Воздействие ЭМП с частотой 25 Гц и уровнем сигнала 24–26 мВ на чувствительность (устойчивость) культур микроводорослей *Tetraselmis viridis* (Tv) и *Dunaliella viridis* (Dv) к вирусному лизису можно наблюдать по данным табл. 3. У культур фиксировали повышение устойчивости на 1–2 порядка через 24 ч и 72 ч пребывания в ЭМП.

Использование в экспериментах ЭМП с заданными характеристиками – частотой 150 Гц и уровнем сигнала 100 мВ ($B = 0,11$ Гс) установило, что его воздействие на культуру микроводоросли *Tetraselmis viridis* даже длительностью 6 суток не приводило к каким-либо изменениям чувствительности микроводоросли к вирусному лизису с его первоначальным титром 10⁵ IE/ml. Можно предположить, что сенситивность этой микроводоросли к заданным характеристикам ЭМП понижена по сравнению с иными ранее использованными. Это вероятно обусловлено сенсорностью микроводоросли *Tetraselmis viridis* к разным частотным характеристикам.

Полученные в ходе экспериментов результаты свидетельствуют о влиянии ЭМП на морскую микробиоту, что сопровождается в основном снижением инфекционного титра у альговирусов и снижением чувствительности микроводо-

дорослей к вирусному лизису. Однако для более обоснованной оценки необходимы дальнейшие систематические исследования, привязанные к особенностям ответных реакций морской микробиоты на разные частотные характеристики и уровни сигнала ЭМП, что, по нашему мнению связано с сенсорностью представителей морского микромира.

В обзорной работе о воздействиях техногенных электромагнитных излучений и полей на живые организмы описано 8 гипотез о возможных механизмах этого явления [5]. Исследователи полагают, что в угнетении некоторых процессов метаболизма и жизнедеятельности микрообъектов, в т.ч. вирусов, основную роль играет образования пероксирадикала [3, 12–14].

Какова природа и механизм повышения устойчивости клеток использованных в экспериментах микроводорослей к вирусному лизису после электромагнитной нагрузки, пока судить сложно. Такой же эффект наблюдался и после воздействия магнитной нагрузки постоянного магнитного поля [6]. Информация об изменениях под влиянием электромагнитных и магнитных полей проницаемости биологических мембран клеток, а также активация перекисного окисления ненасыщенных жирных кислот, разоб-

щение процессов окисления и фосфорилирования в митохондриях, как и многих других процессов, отражена в исследовательских работах [1–5, 13, 14]. Возможно, что высказанные при этом мнения авторов публикаций, в т.ч. и диссертаций, могут быть приняты за основу предположительных объяснений зафиксированного в наших экспериментах повышения устойчивости клеток микроводорослей к вирусному лизису. Не исключена и роль сенсорности микроводоросли к разным характеристикам (частоты и напряженности или уровня сигнала) ЭМП. Тем более, что ученые подчеркивают, что недостаточно детализированными часто остаются факторы, связанные с мощностью, частотой и длительностью воздействия электромагнитных и магнитных полей [2, 4]. Данные, полученные экспериментальным путем многими исследователями, свидетельствуют о специфическом влиянии электромагнитных полей на биологические системы. Таким образом, проблема изучения влияния ЭМП на биологические объекты, а особенно на объекты в водной среде, на гидробионты, не теряет своей актуальности.

Заключение. Экспериментально установлено влияние ЭМП на морскую микробиоту, что было зафиксировано по снижению инфекционного титра у альговирусов и чувствительности микроводорослей к вирусному лизису на 1–2 порядка, в заданных характеристиках с частотой 25–150 Гц и уровнем сигнала 24 мВ ($B = 0,1$ Гс) – 100 мВ ($B = 0,11$ Гс).

На основании полученных результатов было определено, что значения изменений биологических характеристик морской микробиоты (инфекционный титр альговирусов и чувствительность к вирусному лизису микроводорослей) зависели в основном от длительности электромагнитной нагрузки (от суток и более) и ее физических характеристик (частоты и уровня сигнала) создаваемого лабораторной установкой ЭМП. Отмечена зависимость и от величины первоначального инфекционного титра альговирусов и видовой принадлежности использованных в экспериментах культур

микроводорослей, что может быть обусловлено их сенсорностью (избирательной чувствительностью) к изучаемому физическому фактору (ЭМП с разными задаваемыми характеристиками).

Исследования в данном направлении будут продолжены, в т.ч. и с увеличением задаваемых физических характеристик ЭМП на фоне усовершенствования и модификации разработанной лабораторной установки.

Работа выполнена по госбюджетной теме ИПТС № госрегистрации 121122300070-9 "Разработка новых средств и измерительных информационных технологий исследований природных вод" и госбюджетной темы ФИЦ МГИ РАН № FNNN-2021-0003 «Оперативная океанология».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aslanyan R.R., Tulsky S.V., Grigoryan A.V., Babusenko E.S.* Interaction of a living system with an electromagnetic field // Moscow University Biological Sciences Bulletin. 2009. Vol. 64. No. 4. P. 153–156.
2. *Гордеева М.А.* Влияние электромагнитных полей на растительные и животные организмы: Дисс. ...канд. биол. наук (спец. 03.02.08) Тюмень, Государственный аграрный университет Северного Зауралья. 2013. 198 с.
3. *Shaev I.A., Novikov V.V., Yablokova E.V., Fesenko E.E.* A Brief Review of the Current State of Research on the Biological Effects of Weak Magnetic Fields // Biophysics. 2022. Vol. 67. No. 2. P. 245–251.
4. *Рзянина А.В.* Эффекты воздействия переменного магнитного поля на характеристики жизнедеятельности биообъектов: Дисс. ... канд. физ.-мат. наук : (спец. 03.01.02). Саратов. Саратов. гос. ун-т им. Н.Г. Чернышевского. 2010. 118 с.
5. *Шашурич М.М.* Эффекты действия техногенных электромагнитных излучений и полей на живые организмы (обзор) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2015. № 3 (79). С. 83–89.
6. *Степанова О.А., Гайский П.В., Шоларь С.А.* Селективная чувствитель-

ность черноморских микроводорослей к вирусной инфекции после воздействия постоянного магнитного поля // Системы контроля окружающей среды. 2021. № 3 (45). С. 31–39.

7. *Stepanova O.A., Gaisky P.V., Sholar S.A.* Influence of a constant magnetic field on the infectious titer of the Black Sea algal viruses // *Biophysics*. 2022. Vol. 67. No. 2. P. 183–187.

8. *Евстропов В.М., Кочеткова Д.М., Столярова О.Ю.* Электромагнитное поле и биообъекты: исследовательские подходы // *Modern science*. 2019. № 12 (2). С. 30–32.

9. *Богомольный Б.Р., Барзинский В. П., Гридина Т.Л., Федчук, А.С., Мудрик, Л.М.* Влияние электромагнитных полей в диапазонах сверхдлинных волн на рост микроорганизмов и репродукцию вирусов // Проблемы інноваційно-інвестиційного розвитку. 2014. № 6. С. 165–177.

10. *Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Рзянина А.В., А.Д. Усанов.* Воздействие переменного низкочастотного магнитного поля на рост одноклеточной водоросли *Scenedesmus* // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 3. С. 39–43.

11. *Каплуненко В.Г., Косинов Н.В., Скальный А.В.* Уязвимые электрически заряженные места Sars-Cov-2; электрическая модель вируса и роль микроэлементов в его инактивации // Микроэлементы в медицине. 2021. Т. 22 (1). С. 3–20.

12. *Новиков В.В.* Биологические эффекты слабых и сверхслабых магнитных полей: Дисс. ... д-ра биол. наук (спец. 03.00.02) М.: ИБК РАН. 2005. 201 с.

13. *Пономарев В.О.* Модель механизма воздействия слабых электромагнитных полей на биологические и физико-химические системы: Дисс. ... канд. физ.-мат. наук (спец. 03.00.02) М.: ИБК РАН. 2009. 86 с.

14. *Ponomarev V.O., Novikov V.V.* Effect of low-frequency alternating magnetic fields on the rate of biochemical reactions proceeding with formation of reactive oxygen species // *Biophysics*. 2009. Vol. 54. No. 2. P. 163–168.

15. *Wang H.Y., Zeng X. B., Guo S. Y., Li Z.T.* Effects of Magnetic Field on the Antioxidant Defense System of Recirculation-Cultured *Chlorella vulgaris* // *Bioelectromagnetics*. 2008. Vol. 29. No 1. P. 39–46.

16. *Yang Y., Song X.* Multidecadal variation of the Earth's inner-core rotation // *Nature Geoscience*. 2023. Vol. 16. P. 182–187.

17. *Пеньков М.Н., Шоларь С.А., Степанова О.А.* Лабораторная установка для изучения влияния переменного электромагнитного поля на морскую микробиоту // Системы контроля окружающей среды. 2022. № 3 (49). С. 36–42.

18. *Stepanova O.A.* Black Sea algal viruses // *Russian Journal of Marine Biology*, 2016, Vol. 42, No. 2, P. 123–127.

RESULTS OF STUDYING THE INFLUENCE OF ALTERNATING ELECTROMAGNETIC FIELD ON MARINE MICROBIOTA

O.A. Stepanova¹, S.A. Sholar^{1,2}, M.N. Penkov¹

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

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

The influence of the electromagnetic field on some characteristics of the marine microbiota was studied: the infectious titer of Black Sea algal viruses and the sensitivity (resistance) to viral lysis of cultures of Black Sea microalgae *Tetraselmis viridis* and *Dunaliella viridis*. The studies were carried out using a laboratory facility (setup) developed on the basis of the Institute of Natural and Technical Systems, which made it possible to create an electromagnetic effect with a frequency in the range of 25–150 Hz and generate an alternating magnetic field of 0.1–0.545 G. Under the influence of electromagnetic load, a decrease in the infectious titer of algal viruses and an increase in resistance (decrease in sensitivity) to viral lysis of microalgae by 1–2 orders of magnitude were established.

Keywords: electromagnetic field (EMF), algal viruses, microalgae *Tetraselmis viridis* and *Dunaliella viridis*.

REFERENCES

1. Aslanyan R.R., Tulsy S.V., Grigoryan A.V., and Babusenko E.S. Interaction of a living system with an electromagnetic field, *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, 2009, Vol. 64, No. 4, pp. 153–156.
2. Gordeeva M.A. Vliyanie jelektromagnitnyh polej na rastitel'nye i zhivotnye organizmy: Diss. kand. biol. nauk (Effect of field reflection on plant and animal organisms. Cand. biol. sci. thesis), Tyumen: Tyumen State Agricultural Academy, 2013, 198 p.
3. Shaev I.A., Novikov V.V., Yablokova E.V., and Fesenko E.E. A Brief Review of the Current State of Research on the Biological Effects of Weak Magnetic Fields, *Biophysics*, 2022, Vol. 67, No. 2, pp. 245–251.
4. Rzyanina A.V. Effekty vozdeystviya peremennogo magnitnogo polya na harakteristiki jiznedeyatelnosti bioobyektov : diss. ... kand. fiz.-mat. nauk (Effects of the impact of an alternating magnetic field on the characteristics of the vital activity of biological objects. Cand. phys.-math. sci. thesis), Saratov: Sarat. gos. un-t im. N.G. Chernyishevskogo, 2010, 118 p.
5. Shashurin M.M. Effekty dejstviya tekhnogennyh elektromagnitnyh izluchenij i polej na zhivye organizmy (obzor) (Effects of technogenic electromagnetic radiation and fields on living organisms (review)). *Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики*, 2015, pp. 83–89.
6. Stepanova O.A., Gajskij P.V., and Sholar S.A. Selektivnaya chuvstvitel'nost' chernomorskih mikrovdoroslej k virusnoj infekcii posle vozdeystviya postoyannogo magnitnogo polya (Selective sensitivity of Black Sea microalgae to viral infection after exposure to a constant magnetic field). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2021, No. 3 (45), pp. 31–39.
7. Stepanova O.A., Gaisky P.V., and Sholar S.A. Influence of a constant magnetic field on the infectious titer of the Black Sea algal viruses. *Biophysics*, 2022, Vol. 67, No. 2, pp. 183–187.
8. Evstropov V.M., Kochetkova D.M., and Stolyarova O.Yu. Elektromagnitnoe pole i bioob'ekty: issledovatel'skie podhody (Electromagnetic field and bioobjects: research approaches). *Modern science*, 2019, No. 12 (2), pp. 30–32.
9. Bogomol'nyj B.R., Barzinskij V.P., Gridina T.L., Fedchuk A.S., and Mudrik L.M. Vliyanie elektromagnitnyh polej v diapazonah sverhdlinnyh voln na rost mikroorganizmov i reprodukciju virusov (Influence of electromagnetic fields in the ranges of superlong waves on the growth of microorganisms and the reproduction of viruses). *Problemi innovacijno-investitsionnogo razvitiya*, 2014, No. 6, pp. 165–177.
10. Usanov D.A., Skripal' A.V., Rzyanina A.V., and Usanov A.D. Vozdeystvie peremennogo nizkочастотного magnitnogo polya na rost odnokletochnoj vdorosli *Scenedesmus* (Effect of an alternating low-frequency magnetic field on the growth of the unicellular algae *Scenedesmus*). *Biomeditsinskaya radioelektronika*, 2009, No. 3, pp. 39–43.
11. Kaplunenkov V.G., Kosinov N.V., and Skal'nyj A.V. Uyazvimye elektricheski zaryazhennyye mesta Sars-Cov-2; elektricheskaya model' virusa i rol' mikroelementov v ego inaktivacii (Vulnerable electrically charged places Sars-Cov-2; electrical model of the virus and the role of trace elements in its inactivation). *Mikroelementy v medicine*, 2021, Vol. 22 (1), pp. 3–20.
12. Novikov V.V. Biologicheskie efekty slabyyh i sverhslabyyh magnitnyh polej: Diss. d-ra biol. nauk (Biological effects of weak and superweak magnetic fields. Dr. biol. sci. thesis), Moscow: ICB RAS, 2005, 201 p.
13. Ponomarev V.O. Model' mekhanizma vozdeystviya slabyyh elektromagnitnyh polej na biologicheskie i fiziko-himicheskie sistemy. Avtoref. Diss. kand. fiz.-mat. nauk (Model of the mechanism of action of weak electromagnetic fields on biological and physico-chemical systems. Cand. phys.-math. sci. thesis), Moscow: ICB RAS, 2009, 86 p.
14. Ponomarev V.O. and Novikov V.V. Effect of low-frequency alternating magnetic fields on the rate of biochemical reactions proceeding with formation of reactive oxygen species, *Biophysics*, 2009, Vol. 54, No. 2, pp. 163–168.
15. Wang H.Y., Zeng X.B., Guo S.Y., and Li Z.T. Effects of Magnetic Field on the Antioxidant Defense System of Recirculation-Cultured *Chlorella vulgaris*. *Bioelectromagnetics*, 2008, Vol. 29, No. 1, pp. 39–46.
16. Yang Y. and Song X. Multidecadal variation of the Earth's inner-core rotation. *Nature Geoscience*, 2023, Vol. 16. P. 182–187.
17. Pen'kov M.N., Sholar' S.A., and Stepanova O.A. Laboratornaya ustanovka dlja izucheniya vliyanija peremennogo jelektromagnitnogo polya na morskuyu mikrobiotu (Laboratory installation for studying the electromagnetic field on marine microbiota). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2022, No. 3 (49), pp. 36–42.
18. Stepanova O.A. Black Sea algal viruses. *Russian Journal of Marine Biology*, 2016, Vol. 42, No. 2, pp. 123–127.