



ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЧАСТОТОЙ 300 ГЦ НА МОРСКУЮ МИКРОБИОТУ

О.А. Степанова¹, С.А. Шоларь², 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

Продолжено изучение влияния электромагнитного поля (ЭМП) на инфекционный титр черноморских альговирюсов и устойчивость к вирусному лизису культур хозяев (на примере штамма альговирюса микроводоросли *Tetraselmis viridis* и ее культуры) с использованием усовершенствованной на базе Института природно-технических систем лабораторной установки (частота ЭМП 300 Гц, уровень сигнала 125 мВ или $B = 0,5$ Гс). Зафиксированное повышение инфекционного титра на 1–4 порядка после эксперимента, вероятно, связано со снижением адгезии у вирионов. Угнетающее влияние ЭМП на морскую микробиоту выявляли по снижению инфекционного титра через некоторое время после прекращения опытов и повышению чувствительности микроводоросли к вирусному лизису.

Ключевые слова: электромагнитное поле (ЭМП), культура микроводоросли *Tetraselmis viridis*, штамм черноморского альговирюса TvV-SI-1.

Поступила в редакцию: 18.10.2023. После доработки: 08.11.2023.

Введение. На базе Института природно-технических систем (ИПТС) были продолжены исследования влияния электромагнитного поля (ЭМП) на черноморскую микробиоту, используемую в виде черноморских альговирюсов и их хозяев (культур микроводорослей).

Результатами проведенных нами ранее экспериментов было зафиксировано, что воздействие электромагнитной нагрузки на черноморскую микробиоту приводило к снижению инфекционного титра у альговирюсов и повышению устойчивости (снижение чувствительности) к вирусному лизису у микроводорослей на 1–2 порядка [1]. В ходе экспериментов использовали лабораторную установку, созданную в Лаборатории гидрофизических и биоэлектронных измерительных систем и технологий Центра экологического приборостроения и экоэнергетики ИПТС, с заданными характеристиками электромагнитной нагрузки – с частотой 25 Гц и уровнем сигнала 25 мВ ($B = 0,1$ Гс), а также 150 Гц и 100 мВ ($B = 0,38$ Гс) [2].

Целью наших дальнейших экспериментальных исследований явилось

изучение влияния на морскую микробиоту ЭМП с максимальной частотой 300 Гц и уровнем сигнала 125 мВ ($B = 0,5$ Гс).

Материалы и методы. Ранее использованная нами лабораторная установка, создающая ЭМП, в ходе проводимых работ была усовершенствована, что позволило повысить частоту электромагнитной нагрузки до 300 Гц и уровень сигнала до 125 мВ ($B = 0,5$ Гс).

В качестве исследуемой морской микробиоты была использована культура микроводоросли *Tetraselmis viridis* и штамм TvV-SI-1 альговирюса этой микроводоросли (TvV).

Жидкая культура микроводоросли *Tetraselmis viridis*, ранее полученная из коллекции живых культур микроводорослей отдела экологической физиологии водорослей ФИЦ “ИнБИОМ А.О. Ковалевского РАН”, поддерживается в стабилизирующей среде Гольдберга в лабораторных условиях на базе ИПТС.

Используемый в работе штамм TvV-SI-1 сохраняется в авторской коллекции черноморских альговирюсов, его свойства описаны ранее [3].

Определение инфекционного вирусного титра и изменения чувствительности (устойчивости) культуры используемой в опытах микроводоросли к вирусному лизису проводили по описанной ранее методике [3–5].

Результаты и их обсуждение. В табл. 1 представлены результаты, полу-

ченные в ходе проведения экспериментов по изучению влияния ЭМП с заданными характеристиками 300 Гц и 125 мВ ($B = 0,5$ Гс) на инфекционный титр используемого штамма (TvV-SI-1) альговируса микроводоросли *Tetraselmis viridis*.

Таблица 1. Результаты изучения влияния ЭМП 300 Гц и 125 мВ ($B = 0,5$ Гс) на инфекционный титр (в IE/ml) черноморского альговируса микроводоросли *Tetraselmis viridis* (штамм TvV-SI-1)

Номер эксперимента	Дата		День эксперимента	Инфекционный вирусный титр		Изменения инфекционного титра в опыте по сравнению с контролем
	начала эксперимента	отбора материала		контроль	опыт	
1	30.01.2023	03.02.2023	4	10^4	10^7	Увеличение на 3 порядка
2		06.02.2023	7	10^4	10^6	Увеличение на 2 порядка
3	13.02.2023	17.02.2023	4	10^6	10^5	Снижение на 1 порядок
4		22.02.2023	9	10^6	10^7	Увеличение на 1 порядок
5	07.03.2023	17.03.2023	10	10^1	10^5	Увеличение на 4 порядка
6	24.03.2023	07.04.2023	14	10^1	10^3	Увеличение на 2 порядка
7	14.04.2023	21.04.2023	7	10^2	10^4	Увеличение на 2 порядка

Как можно видеть из представленных в табл. 1 данных в 6-ти из 7-ми проведенных экспериментов наблюдается повышение инфекционного титра на 1–4 порядка у используемого альговируса микроводоросли *Tetraselmis viridis* (штамм TvV-SI-1).

Снижение инфекционного титра относительно данных контрольного образца альговируса наблюдали один раз и всего на 1 порядок (эксперимент 3 с

13.02.2023 по 17.02.2023, длительностью 4 дня). Однако при более продолжительном времени воздействия электромагнитной нагрузки на этот образец (эксперимент 4, с 13.02.23 по 22.02.23, длительность опыта 9 дней) фиксировали увеличение инфекционного титра вируса относительно контроля на 1 порядок.

По нашему предположению зафиксированный в экспериментах факт повышения инфекционного титра альгови-

руса микроводоросли *Tetraselmis viridis* (штамм TvV-SI-1) после воздействия ЭМП с высокой частотой (300 Гц) может быть связан с резким снижением свойств адгезии (склеивания, приклеивания, слипания) у вирусных частиц.

Адгезия – избирательная способность прикрепляться к эпителиальным клеткам определенного вида хозяина и определенных систем и органов макроорганизма (органоатропность) и/или микроорганизма [6]. Адгезия специфична, что обусловлено наличием комплементарных структур у микробов, в т.ч. вирусов, (адгезины, или лиганды) и у клеток

хозяина (рецепторы). В этом процессе участвуют гидрофобные связи и электростатические силы. Логично предположить, что ЭМП воздействует на электростатический механизм адгезии, временно изменяя его.

На рис. 1 представлено электронно-микроскопическое изображение вирионов штаммов черноморских альговирусов, в т.ч. и штамма альговируса микроводоросли *Tetraselmis viridis*. В результате адгезии между альговирусами можно наблюдать «конгломераты», состоящие из 5–10 и более вирусных частиц.

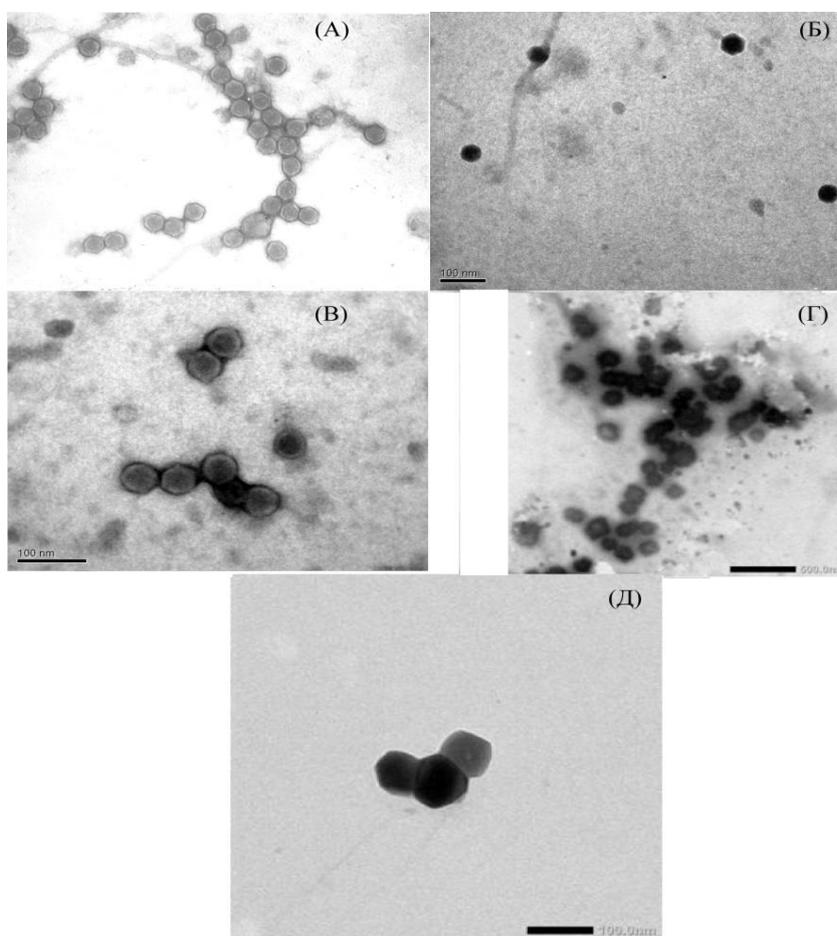


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение штаммов вирусов микроводорослей *Tetraselmis viridis* (А), *Phaeodactylum tricornutum* (Б); *Dunaliella viridis* (В); *Prorocentrum pusilla* (Г); *Isochrysis galbana* (Д) [3]

Fig. 1. Electron microscopic image of virus strains of microalgae *Tetraselmis viridis* (A), *Phaeodactylum tricornutum* (Б); *Dunaliella viridis* (B); *Prorocentrum pusilla* (Г); *Isochrysis galbana* (Д) [3]

По нашему предположению, в результате воздействия ЭМП с частотой 300 Гц происходят временные нарушения электростатического механизма присоединения (склеивания), что приводит к снижению адгезии, разрушению «конгломератов» и высвобождению большого количества вирионов. Таким образом, за счет разрушения слипания (склеивания в конгломераты) вирусных частиц их концентрация резко увеличивается, что может отражаться на повышении инфекционного титра у вируса сразу после прекращения эксперимента и его титровании. После устранения воздействия ЭМП с частотой 300 Гц адгезия, по всей видимости, восстанавливается и участвует в прикреплении вирионов к клеткам хозяина с дальнейшей вирусной инфекцией. Это и проявляется в повышении инфекционного вирусного титра в суспензии после электромагнитной нагрузки.

При электронной микроскопии на фото черноморских альговирюсов (рис.1) также наблюдается адгезия вирус-вирус (прилипание вирионов друг к другу в виде «мозаики») и у альговирюсов микроводорослей *Dunaliella viridis*, *Prorocentrum pusilla* и *Isochrysis galbana*. Причем наиболее отчетливо этот эффект слипания отмечается у вирионов альговирюса микроводоросли *Tetraselmis viridis*.

В итоге в наших экспериментах впервые было зафиксировано, что используемая высокая частота ЭМП 300 Гц, вероятно, способствуя «разлипанию» (нарушению электростатического механизма адгезии) вирионов (вирусных частиц) используемого вируса (ТvV), приводит к повышению вирусного инфекционного титра (происходит увеличение численности свободных вирионов) в опыте по сравнению с контролем.

Однако, как известно по многочисленным экспериментальным работам и исследованиям, ЭМП угнетающе влияет на процессы метаболизма и жизнедеятельности микрообъектов, в т.ч. вирусов. И, по мнению ученых, основную роль в этом явлении играют образования пероксирадикала [7–10].

Эффект угнетающего воздействия используемого в наших экспериментах ЭМП обнаруживается через некоторое время, в наших исследованиях через 5–7 и более дней, после окончания влияния электромагнитной нагрузки. Так, например, при титровании через 7 дней вирусной суспензии (эксперимент 7 от 14.04 по 21.04.2023, см. табл. 1), повысившей вирусный инфекционный титр на 2 порядка после электромагнитной нагрузки, наблюдали снижение титра до 10^1 IE/ml. А это на 1 порядок ниже значений в контроле (10^2 IE/ml) и на 3 порядка ниже, чем наблюдали в опыте. Сходные результаты, свидетельствующие о снижении инфекционного вирусного титра у облученной в ЭМП пробы, через некоторое время после окончания опыта наблюдали и в других экспериментах.

Полученные нами результаты свидетельствуют, что процесс и механизм воздействия электромагнитной нагрузки на вирусные суспензии может усложняться и возможными физическими факторами, в т.ч. влиянием ЭМП на электростатику вирионов, что может нарушать свойство адгезии.

В ходе работы также проводили изучение влияния ЭМП частотой 300 Гц и уровнем сигнала 125 мВ ($B = 0,5$ Гс) на чувствительность (сенситивность) культуры хозяина – микроводоросли *Tetraselmis viridis* – к вирусному лизису. Всего было выполнено 6 экспериментов продолжительностью от 7 до 16 дней. В 4-х экспериментах не наблюдали изменений устойчивости (чувствительности) к вирусному лизису. В 2-х экспериментах, продолжительностью 7 и 16 дней были зафиксированы изменения – снижение устойчивости или повышение чувствительности к вирусному лизису на 2 порядка. В опытах, сопровождавшихся изменениями устойчивости хозяина к вирусу, были использованы вирусные суспензии с высоким инфекционным титром (10^7 и 10^6 IE/ml). В остальных 4-х экспериментах титр находился в пределах 10^2 и 10^4 IE/ml.

Таким образом, было выявлено угнетающее влияние ЭМП частотой 300 Гц на чувствительность микроводоросли

Tetraselmis viridis к вирусному лизису при использовании инфекционных титров вирусного штамма выше природных. Значения природных инфекционных титров черноморских альговирюсов представлены в [3].

Как мы уже предполагали и ранее в своей работе [1], роль в изменениях чувствительности клеток микроводорослей к вирусному лизису после электромагнитной нагрузки может играть изменение проницаемости биологических мембран клеток, а также активация перекисного окисления ненасыщенных жирных кислот, разобщение процессов окисления и фосфорилирования в митохондриях, как и многих других процессов. Эта информация отражена во многих исследовательских работах [7–14]. Однако при большом количестве экспериментов и полученных результатов ученые делают акцент на то, что факторы, связанные с мощностью, частотой и длительностью воздействия электромагнитных и магнитных полей, пока недостаточно изучены.

Выявленные путем экспериментов многими исследователями факты, указывают на специфичность (особенность) влияния электромагнитных полей на биологические системы, и актуальность изучения влияния электромагнитной нагрузки на биологические объекты не теряет своей остроты. И в особенности этот интерес направлен на объекты водной среды, на гидробионтов, и на водную микробиоту, как на представителей самой многочисленной группы организмов.

При работе по изучению влияния электромагнитной нагрузки на вирусы, вероятно, надо учитывать и тот факт, что в вирусной экологии и в процессе вирусной инфекции значительную роль играют электростатические силы и механизмы, что подробно рассмотрено на примере отдельных вирусов [15].

Заключение. Было продолжено изучение влияния электромагнитного поля (ЭМП) на инфекционный титр черноморских альговирюсов и устойчивость к вирусному лизису культур их хозяев (на примере штамма TvV-SI-1 альговирюса

микроводоросли *Tetraselmis viridis* и культуры этой микроводоросли).

Работы выполнялись с использованием усовершенствованной на базе Института природно-технических систем лабораторной установки, создающей ЭМП частотой 300 Гц и уровнем сигнала 125 мВ ($B = 0,5$ Гс).

Зафиксированное в ходе экспериментов повышение инфекционного титра на 1–4 порядка после воздействия электромагнитной нагрузки с заданными характеристиками (300 Гц и 125 мВ или $B = 0,5$ Гс), предположительно связано с временным снижением адгезии у вирионов, поскольку при этом нарушаются электростатические силы и механизмы эффекта слипания.

Угнетающее влияние ЭМП на морскую микробиоту было определено по снижению вирусного инфекционного титра через некоторое время после прекращения воздействия электромагнитной нагрузки и повышению чувствительности (чувствительности) или снижению устойчивости микроводоросли к вирусному лизису.

Впервые выявленный факт повышения инфекционного титра альговирюса после воздействия ЭМП частотой 300 Гц и уровнем сигнала 125 мВ ($B = 0,5$ Гс), по нашему мнению, требует дополнительных исследований. Работы в этом направлении будут продолжены, в т.ч. с использованием альговирюсов как с ярко проявляемой адгезией вируса к вирусу, так и без нее.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанова О.А., Шоларь С.А., Пеньков М.Н. Результаты изучения влияния электромагнитного поля на морскую микробиоту // Системы

контроля окружающей среды. 2023. № 2 (52). С. 32–39.

2. 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.

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

4. Степанова О.А., Гайский П.В., Шоларь С.А. Селективная чувствительность черноморских микроводорослей к вирусной инфекции после воздействия постоянного магнитного поля // Системы контроля окружающей среды. 2021. № 3 (45). С. 31–39.

5. Stepanova O.A., P.V. Gaisky, 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.

6. Харсеева Г.Г., Миронов А.Ю., Алиева А.А. Подавление бактериальной адгезии: современные подходы, проблемы и перспективы // Успехи современной биологии. 2019. Т. 139. № 5. С. 506–515.

7. Краткий обзор современного состояния исследований биологического действия слабых магнитных полей. / И.А. Шаев, В.В. Новиков, Е.В. Яблокова [и др.] // Биофизика. 2022. Т. 67. № 2. С. 319–326

8. 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.

9. 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.

10. Пономарев В.О., Новиков В.В. Действие низкочастотных переменных магнитных полей на скорость биохимических реакций, приводящих к образованию активных форм кислорода // Биофизика. 2009. Т. 54. № 2. С. 235–241.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. Шашурин М.М. Эффекты действия техногенных электромагнитных излучений и полей на живые организмы (обзор) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2015. № 3 (79). С. 83–89.

15. 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.

INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELD WITH FREQUENCY 300 Hz ON MARINE MICROBIOTA

O.A. Stepanova¹, S.A. Sholar², 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

We were continued the study of the influence of the electromagnetic field (EMF) on the infectious titer of the Black Sea algal viruses and resistance to viral lysis of their hosts (using the example of strain virus of microalgae *Tetraselmis viridis* and algal culture) with using of an improved laboratory installation based on the Institute of Natural and Technical Systems (frequency EMF 300 Hz, signal level 125 mV or B = 0,5 G). The recorded increase in infectious titer by 1-4 orders of magnitude after the experiment

is likely due to a decrease of adhesion of virions. The inhibitory effect of EMF on marine microbiota was revealed by a decrease in the infectious titer after some time end of the experiments and an increase in the sensitivity of the microalgae to viral lysis.

Keywords: electromagnetic field (EMF), microalgae culture *Tetraselmis viridis*, Black Sea algal viral strain TvV-SI-1.

REFERENCES

1. Stepanova O.A., Sholar' S.A., and Pen'kov M.N. Rezul'taty izucheniya vliyaniya elektromagnitnogo polya na morskuyu mikrobiotu (Results of studying the influence of variable electromagnetic field on marine hydrobiota). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2023, No. 2 (52), pp. 32–39.
2. Pen'kov M.N., Sholar' S.A., and Stepanova O.A. Laboratornaya ustanovka dlja izucheniya vlijaniya peremennogo jelektromagnitnogo polja na morskuyu mikrobiotu (Laboratory installation for studying the electromagnetic field on marine microbiota). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2022, No. 3 (49), pp. 36–42.
3. Stepanova O.A. Black Sea algal viruses. *Russian Journal of Marine Biology*, 2016, Vol. 42, No. 2, pp. 123–127.
4. Stepanova O.A., Gajskij P.V., and Sholar S.A. Selektivnaya chuvstvitel'nost' chernomorskih mikrovodoroslej k virusnoj infekcii posle vozdejstviya 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.
5. 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.
6. Harseeva G.G., Mironov A.Yu., Alieva A.A. Podavlenie bakterial'noj adgezii: sovremennye podhody, problemy i perspektivy (Suppression of bacterial adhesion: modern approaches, problems and prospects). *Uspekhi sovremennoj biologii*. 2019, Vol. 139. № 5, pp. 506–515.
7. 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.
8. Novikov V.V. Biologicheskie efekty slabyh i sverhslabyh 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.
9. Ponomarev V.O. Model' mekhanizma vozdejstviya slabyh 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.
10. 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.
11. 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*, Vol. 64, No. 4, pp. 153–156.
12. Gordeeva M.A. Vlijanie 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.
13. Rzyanina A.V. Effekty vozdejstviya peremennogo magnitnogo polya na harakteristiki jiznedejatel'nosti 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.
14. 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 Subarktiki*, 2015, pp. 83–89.
15. Kaplunenko V.G., Kosinov N.V., and Skal'nyj A.V. Uyazvimye elektricheski zaryazhennye 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.