

**МИКРООРГАНИЗМЫ АКТИВНОГО ИЛА И ДЕЙСТВИЕ НА НИХ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ****<sup>1</sup>А.К. Тонких, <sup>2</sup>З.Р. Ахмедова, <sup>3</sup>О.А. Верушкина**<sup>1,2,3</sup>Институт микробиологии АН РУз<https://doi.org/10.5281/zenodo.8371982>

**Аннотация.** Целью данной работы явилось изучение влияния импульсного ЭМП с частотой следования импульсов 16 Гц на процессы разложения органических соединений в сточных водах в присутствии микроорганизмов активного ила. Эксперименты проводили в двух реакторах объёмом 10 л. Измеряли основные характеристики сточной воды: ХПК,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , концентрацию активного ила, иловый индекс. Экспериментально показано, что аэробная очистка смеси сточной воды и активного ила в присутствии непрерывного импульсного электромагнитного поля частотой 16 Гц и магнитной индукцией не более 0,5 мкТ ускоряет процесс аммонификации на 25%, нитрификации и денитрификации на 15%, снижает ХПК приблизительно на 20%. Ускоряется увеличение биомассы активного ила и скорость его осаждения.

**Ключевые слова:** Сточные воды, активный ил, импульсное электромагнитное поле, биологический азот.

**Annotatsiya.** Ushbu ishning maqsadi 16 Gts impulsli takrorlanish tezligi bilan impulsli EMF ning faollashtirilgan loy mikroorganizmlari ishtirokida oqava suvdagi organik birikmalarning parchalanish jarayonlariga ta'sirini o'rganish edi. Tajribalar hajmi 10 litr bo'lgan ikkita reaktorda o'tkazildi. Chiqindilarni suvning asosiy xarakteristikalarini o'lchandi: COD,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , faol loy konsentratsiyasi, loy indeksi. 16 Gts chastotali uzluksiz impulsli elektromagnit maydon va 0,5 mкT dan ortiq bo'lmagan magnit induksiya ishtirokida oqava suv va faol loy aralashmasini aerobik tozalash ammonifikatsiya jarayonini 25% ga tezlashtirishi eksperimental ravishda ko'rsatilgan. , nitrifikatsiya va denitrifikatsiyani 15% ga va CODni taxminan 20% ga kamaytiradi. Faollashgan loy biomassasining ortishi va uning cho'kish tezligi tezlashadi.

**Kalit so'zlar:** Kanalizatsiya, faol loy, impulsli elektromagnit maydon, biologik azot.

**Abstract.** The purpose of this work was to study the effect of a pulsed EMF with a pulse repetition rate of 16 Hz on the processes of decomposition of organic compounds in wastewater in the presence of activated sludge microorganisms. The experiments were carried out in two reactors with a volume of 10 liters. The main characteristics of waste water were measured: COD,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , activated sludge concentration, sludge index. It has been experimentally shown that aerobic treatment of a mixture of waste water and activated sludge in the presence of a continuous pulsed electromagnetic field with a frequency of 16 Hz and a magnetic induction of not more than 0.5  $\mu\text{T}$  accelerates the process of ammonification by 25%, nitrification and denitrification by 15%, and reduces COD by approximately 20%. The increase in the biomass of activated sludge and the rate of its sedimentation are accelerated.

**Keywords:** Wastewater, activated sludge, pulsed electromagnetic field, biological nitrogen.

Разработка мер по совершенствованию очистки сточных вод - одно из приоритетных направлений природоохранной биотехнологии на современном этапе. При биологической очистке сточных вод с помощью микроорганизмов активного ила

возможно ускорение очистки через активацию микроорганизмов электромагнитными полями (ЭМП). Это основано на данных литературы о стимулирующем неспецифическом действии электромагнитных полей на различные микроорганизмы активного ила [1, 2]

Больше всего сообщений о действии на микроорганизмы сточных вод статических магнитных полей (СМП).

Например, в работе Yavuz H.C., Çelebi S.S., [3] показано, что максимальное увеличение концентрации микроорганизмов активного ила и ускорение (на 44%) реакции окисления субстрата глюкозы в синтетической сточной воде наблюдается при СМП 17,8 мТл.

В работе Zhu Y-M et al. [4] показано, что статическое магнитное поле 50 мТл оказывает максимальное действие на удаление азота из синтетической сточной воды при аэрации, при разной исходной концентрации аммонийного азота. Например, при исходной концентрации аммонийного азота 50 мг/л в контроле при отсутствии магнитного поля полное удаление азота происходит за 10 часов, а в присутствии СМП 50 мТл за 7 часов, то есть на 30% быстрее.

Zaidi N.S. et al. [5] показали, что при обработке СМП 88,0 мТл 6 л смеси сточной воды с активным илом с концентрацией биомассы 5,6 г/дм<sup>3</sup>, через 8 часов концентрация ХПК была на 19% меньше, чем в контроле, концентрация аммонийного азота (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) на 6% меньше, концентрация нитритов (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) на 44% меньше, фосфатов (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) на 35% меньше относительно контроля, и в целом, осаждаемость ила была выше, чем в контроле.

Имеется работа, в которой показано, что метаболизм, рост и размножение микроорганизмов в активном иле значительно усиливаются после воздействия ЭМП частотой 50 Гц и напряженностью 4-6 В/м [6].

Решением проблемы очистки аэротенков объёмом несколько тысяч кубических метров может стать использование низкочастотных импульсных ЭМП, которые могут распространяться под водой на расстояние несколько метров от антенны.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния импульсного ЭМП на процессы разложения органических соединений в сточных водах в присутствии микроорганизмов активного ила.

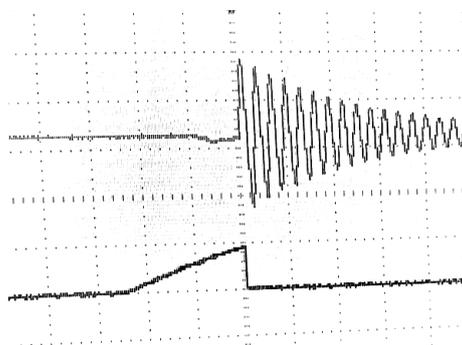
В работе использовали смесь сточной воды и активного ила из аэротенка Бектемирской станции аэрации г. Ташкента (Узбекистан). Эксперимент проводили в двух сосудах объёмом 10 л с 8 л смеси. Аэрацию и перемешивание смеси осуществляли с помощью двух аквариумных компрессоров производительностью 5 л/мин. Сосуды располагали в затемнённом помещении при температуре 20-25 °С.

Также использовали самодельный генератор пилообразных импульсов с частотой 16 Гц. Эти импульсы через усилитель и повышающий трансформатор подавали на антенну. Антенной служил изолированный провод длиной 1 м. Антенна излучала затухающие импульсы с частотой следования 16 Гц, частотой заполнения около 80 кГц и магнитной индукцией рядом с антенной около 500 нТл (рис.1).

Провод антенны от импульсного генератора располагали рядом с опытным сосудом. Обработка электромагнитными импульсами была непрерывной во время всего эксперимента. Осциллограммы регистрировали цифровым осциллоскопом UT2025 С Компании Uni-Trend Group Limited (Китай). Магнитную индукцию измеряли милигауссметром [UHS](#) 2 Компании AlphaLab Inc (США).

Контрольный сосуд располагали на расстоянии 5 м от экспериментального сосуда. Отсутствие электромагнитных импульсов в контрольном сосуде контролировали милигауссметром или радиоприёмником на длинных волнах.

Рис. 1. Осциллограмма подаваемого с генератора на импульса излучаемого антенной  
Осциллограмма импульса зарегистрирована на



импульсов, антенну (внизу) и (вверху).  
излучаемого резисторе 100 кОм.

Химическое потребление кислорода (ХПК) определяли бихроматным методом [7, 8].

Определение концентрации ила проводили методом взвешивания стекловолоконных фильтров Компании Pall Corporation Type A/B (диаметром 50 мм, поры – 1 мкм) до фильтрования через них 50 мл сточной воды и после фильтрования и высушивания при 105°C [7, 9].

Определение объёма осаждённого ила и индекса объёма ила проводили как описано в Standard Methods APHA [7] No 2710C и No 2710D.

Концентрацию ионов аммония и нитратов в сточной воде измеряли с помощью ион селективных электродов Intellical ISENH4 181AP и Intellical ISENO3 181AP Компании Nash (Великобритания) с помощью pH-метра F20-Standard Компании Mettler-Toledo GmbH. [7].

### Результаты

При исследовании образца исходной сточной воды, поступающей на аэротенки Бектемирской станции аэрации, были получены следующие данные: взвешенные вещества  $138 \pm 25$  мг/дм<sup>3</sup>, ХПК –  $282 \pm 32$  мгО/дм<sup>3</sup>, ионов  $\text{NH}_4^+$  -  $22 \pm 3$  мг/дм<sup>3</sup>, ионов  $\text{NO}_3^-$  менее 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. После добавления активного ила концентрация взвешенных веществ стала  $3832 \pm 58$  мг/дм<sup>3</sup>.

После начала эксперимента пробы воды брали каждый час и в них измеряли ХПК, концентрацию ила, ионов аммония и нитратов. Результаты представлены на рис. 2 – 5.

Из рисунка 2 видно, что в контроле ХПК уменьшается до 30,0 мгО/дм<sup>3</sup>, то есть до концентрации допустимой для сброса воды в водоёмы рекреационного водопользования за 8 часов. В присутствии электромагнитной обработки ХПК уменьшается до этой концентрации приблизительно за 6,5 часов, то есть приблизительно на 20% быстрее.

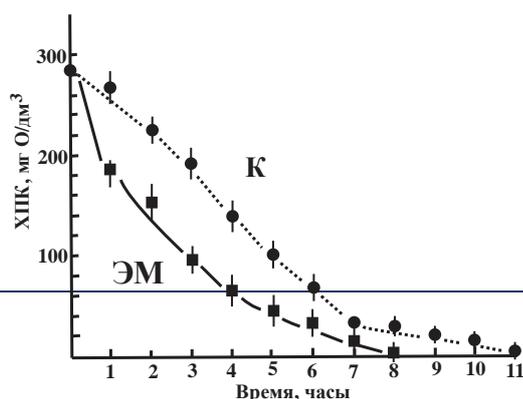


Рис. 2. Изменение химического потребления кислорода (ХПК) в сточной воде с добавленным активным илом при барботировании воздухом в контроле (К) и в присутствии импульсного электромагнитного поля (ЭМ). Представлены

средние значения типичного эксперимента с указанными стандартными отклонениями.

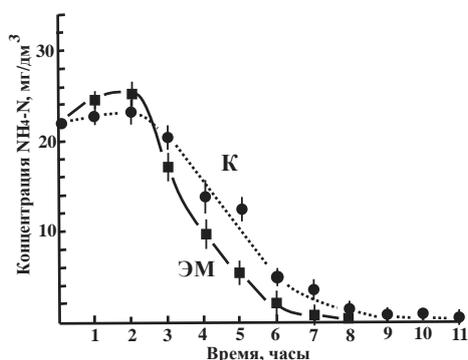


Рис. 3. Изменение концентрации аммонийного азота ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) в сточной воде с добавленным активным илом при барботировании воздухом в контроле (К) и в присутствии импульсного электромагнитного поля (ЭМ). Представлены средние значения типичного эксперимента с указанными стандартными отклонениями.

Концентрация ионов аммония опускается до допустимого значения  $2,0 \text{ мг/дм}^3$  в контроле через 8 часов, а в присутствии электромагнитной обработки через 6 часов (рис.3). Ускорение процесса аммонификации происходит на 25%.

Допустимая концентрация нитратов для сброса в водоёмы  $4,5 \text{ мг/дм}^3$ . В исходной сточной воде нитратов было менее  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ . В контроле концентрация нитратов вначале повышается до  $5 \text{ мг/дм}^3$  на 6-ой час инкубации и затем снижается до  $3,0 \text{ мг/дм}^3$ , за счёт включения в биомассу микроорганизмов активного ила. В присутствии электромагнитной обработки этот процесс происходит быстрее приблизительно на 15% (рис.4).

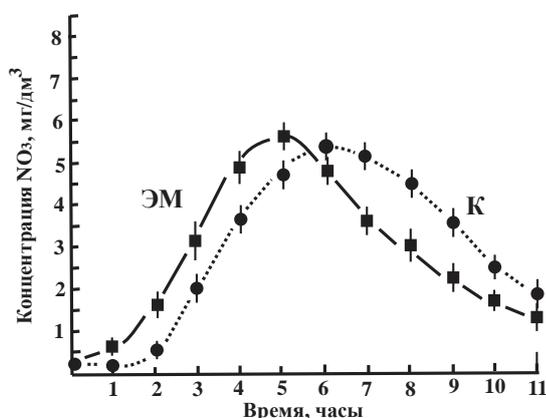


Рис. 4. Изменение концентрации ионов нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ) в сточной воде с активным илом при барботировании воздухом в контроле (К) и в присутствии импульсного электромагнитного поля (ЭМ). Представлены средние значения типичного эксперимента с указанными стандартными отклонениями.

В процессе окисления органических соединений биомасса активного ила увеличивается от исходных  $3,8 \text{ г/дм}^3$  до  $5,0 \text{ г/дм}^3$  в контроле за 11 часов, а в присутствии электромагнитной обработки концентрация биомассы ила в  $5,0 \text{ г/дм}^3$  достигается за 9 часов, то есть приблизительно на 10% быстрее (рис.5).

После 11 часовой инкубации объём осаждённого ила через 30 мин отстаивания и индекс объёма ила (объём в миллилитрах, занимаемый 1 г суспензии после 30-минутного отстаивания) для контрольного ила был  $85 \text{ мл/л}$  и  $17,7 \text{ мл/г}$ , а для ила, обработанного ЭМП  $86 \text{ мл/л}$ . Большинство работ по действию ЭМП на микроорганизмы было выполнено с использованием статических магнитов или переменных низкочастотных синусоидальных ЭМП, излучаемых кольцами Гельмгольца или другими соленоидами.

Во всех работах, все микробиологические объекты располагались вблизи соленоидов или магнитов, так как эти ЭМП далеко от источника не распространяются. Только в одном случае *Chromobacterium violaceum* располагали вблизи высоковольтной линии 5000 В [10]. Поэтому возникают вопросы, как использовать эти постоянные магниты и соленоиды в условиях реальных аэротенков очистных сооружений. и 15,6 мг/г. Эти данные показывают, что осаждаемость ила после электромагнитной обработки более высокая.

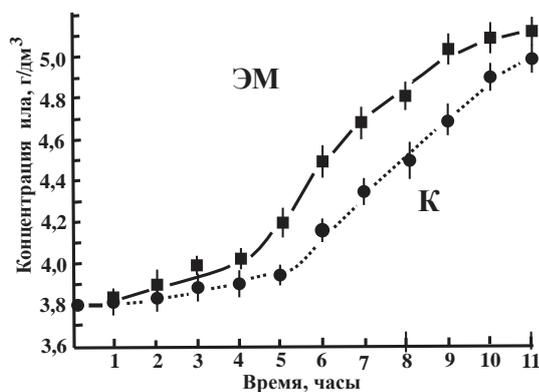


Рис. 5.

Изменение концентрации активного ила в сточной воде при барботировании воздухом в контроле (К) и в присутствии импульсного электромагнитного поля (ЭМ).

Решением является использование низкочастотных импульсных ЭМП, которые распространяются от антенны достаточно далеко, благодаря частоте заполнения импульсов около 100 кГц. Это диапазон длинных волн (30-300 кГц), поэтому импульсы, использованные в данной работе, можно легко прослушивать на длинных волнах и контролировать распространение этих импульсов.

Для создания импульсов используют генераторы, непрерывно излучающие частоту около 100 кГц и, путём её прерывания, формирующие пачки импульсов с низкой частотой следования. В нашем случае мы использовали более простой генератор пилообразных импульсов, которые при подаче через антенный трансформатор на антенну излучали пачки затухающих импульсов.

Существует представление о возможной связи, проявляющих биологические эффекты крайне низких частот ЭМП, с Шумановскими резонансами волновода между поверхностью Земли и ионосферой на частотах: 7,8, 14, 20, 26, 33, 39, 45 и 51 Hz [11].

Ранее было показано, что брожение дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* ускоряют импульсные ЭМП с частотами 4, 16 и 40 Гц [12]. Поэтому, в настоящей работе мы использовали фиксированную частоту 16 Гц.

На рисунках 2 – 5 показано непрерывно действующее импульсное ЭМП с частотой 16 Гц и магнитной индукцией менее 0,5 мкТл, которое ускоряет основные процессы при биологической очистке сточной воды: аммонификацию органических остатков, нитрификацию, денитрификацию и уменьшение ХПК и далее увеличение биомассы активного ила и его осаждаемость. Причём ускорение всех этих процессов происходит на 15-25%.

Эти данные соответствуют данным по ускорению очистки сточных вод с помощью статических магнитов у других авторов [4, 13].

Кроме того, данные импульсные ЭМП относительно хорошо распространяются в водной среде, что дает основание предполагать, что для обработки аэротенков на реальных станциях биологической очистки сточных вод импульсным ЭМП не будет необходимости вносить изменения в конструкцию аэротенков. Достаточно расположить рядом с аэротенком генератор и опустить антенну (изолированный электропровод) в воду. Таким образом, преимущества слабых импульсных низкочастотных ЭМП для очистки сточных вод очевидны.

## REFERENCES

1. Beretta G., Mastorgio A.F., Pedrali L., Saponaro S., Sezenna E. The effects of electric, magnetic and electromagnetic fields on microorganisms in the perspective of bioremediation// *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2019. V.18. P.29–75.
2. Wang, Y.L., Gu, X., Quan, J.N., Xing, G.H., Yang, L.W., Zhao, C.L., Wu, P., Zhao, F., Hu, B., Hu, Y.S. Application of magnetic fields to wastewater treatment and its mechanisms: A review. *Sci. Total Environ*. 2021. 773, 145476.
3. Yavuz H.C., Çelebi S.S. Effects of magnetic field on activity of activated sludge in wastewater treatment. *Enzyme Microb Technol*. 2000. V.26 (1). P.22–27.
4. Zhu Y-M, Ji H., Ren H., Geng J., Xu K. Enhancement of static magnetic field on nitrogen removal at different ammonium concentrations in a sequencing batch reactor: Performance and biological mechanism// *Chemosphere*. 2021. V.268. 128794
5. Zaidi N.S., Sohaili J., Muda Kh., Sillanpaa M., Hussein N. Effect of magnetic field on biomass properties and their role in biodegradation under condition of low dissolved oxygen// *Applied Water Science*. 2021. V.11:114. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01439-9>
6. Bartha C., Jipa M., Caramitu A-R., Voinea A., Tokos A., Circiumaru G., Micu D-D., Lingvay I. Behavior of Microorganisms from Wastewater Treatments in Extremely Low-Frequency Electric Field//*Biointerface Research in Applied Chemistry*. Platinum Open Access Journal (ISSN: 2069-5837) 2022. V. 12, Issue 4, P. 5071-5080. <https://doi.org/10.33263/BRIAC124.50715080>
7. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23<sup>RD</sup> Edition. Ed. L.L.Bridgewater. APHA and AWWA and WEF DC, Washington, DC. 2017. No. 5220, No 2540D, No 2710C, No 2710D, No 4500-NH3 D, No 4500-NO3 D. [www.standardmethods.org](http://www.standardmethods.org).
8. РД 52.24.421-2012. Руководящий документ. Химическое потребление кислорода в водах. Методика измерения титриметрическим методом. Ростов на Дону. 2012. 23 с.
9. Жмур, Н.С. Методическое руководство по гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками: Государственный реестр природоохранных нормативных документов : ПНД Ф СБ 14.1.77-96 / Москва : АВАРОС, 2009. - 73 с., [30] л. ПНД Ф СБ 14.1.77-96 - "Методическое руководство по гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками".
10. Barauna RA, Santos AV, Gracas DA, Santos DM, Ghilardi Junior R, Piment AMC, Carepo MSP, Schneider MPC, Silva A (2015) Exposure to an extremely low-frequency electromagnetic field only slightly modifies the proteome of *Chromobacterium violaceum*

ATCC 12472. *Genet Mol Biol* 38(2):227-230

11. Cherry N. Schumann resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of Solar/Geomagnetic Activity. Lincoln University, Canterbury, New Zealand "Natural Hazards", 2002. V.26. P. 279-331.
12. Тонких А.К., Мирзарахметова Д.Т., Раджабова Г.Г., Махмурова Д.М. Патент РУз на изобретение № IAP 05796 Способ электромагнитной активации дрожжей. Приоритет от 03.11.2014. Оpubл. в Расмий Ахборотнома. 2019. № 4 (216). С. 50-51.
13. Łebkowska M., Rutkowska-Narożniak A., Pajor E., Tabernacka A., Załęska-Radziwiłł M. Impact of a static magnetic field on biodegradation of wastewater compounds and bacteria recombination.//*Environmental Science and Pollution Research*. 2018. V.25, No.23. P. 22571-22583. DOI:10.1007/s11356-018-1943-0