



UDK: 582.26(571.56)

Nargiza ESHMURODOVA,
O'zbekiston Milliy universiteti dotsenti, b.f.n
E-mail: nargizaeshmurodova0306@gmail.com

Maftuna MIRZABEKOVA,
O'zbekiston Milliy universiteti tayanch doktoranti

TDU professori, t.f.n. N.Ibragimov taqrizi asosida

**“EKOLOGIK VA IQTISODIY BARQARORLIK UCHUN SUVO‘TLARIGA ASOSLANGAN OQAVA SUVLARNI TOZALASH:
HOZIRGI HOLAT VA KELAJAK ISTIQBOLLARI”**

Аннотация

Maqolada so‘nggi o‘n yilliklarda sanoatlashuv, globallashuv va aholi sonining o‘shishi chuchuk suv resurslariga talabni ortishiga, tabiiy suv havzalariga oqava suvlarni oqizilishi natijasida ko‘p miqdorda organik va noorganik birikmalar tabiiy komponentlarga jiddiy ta‘sirini oldini olishda suvo‘tlariga asoslangan (biologik tozalash), atrof-muhit ifloslanishini bartaraf etish potentsialini, shuningdek, bioenergiya va qo‘shimcha qiymatli biomolekulalarni ishlab chiqarish kabi muhim vazifalarni amaliy echimi yuzasidan olib-borilgan ilmiy-tadqiqot natijalari tahlili yoritilgan.

Kalit so‘zlar: iqlim o‘zgarishlari, sanoatlashuv, globallashuv, aholi sonining o‘shishi, suv resurslari, suvo‘tlari, oqava suvlar, issiqxona gazi.

**“БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ”**

Аннотация

В статье освещается анализ результатов научных исследований, проведённых в последние десятилетия по практическому решению таких важных задач, как потенциал водорослей для устранения загрязнения окружающей среды на основе биологической очистки, а также их применение в производстве биоэнергии и ценных биомолекул. Эти исследования касаются увеличения спроса на пресноводные ресурсы вследствие индустриализации, глобализации и роста численности населения, а также воздействия сточных вод, содержащих большое количество органических и неорганических соединений, на природные компоненты при их сбросе в природные водоёмы.

Ключевые слова: изменения климата, индустриализация, глобализация, рост населения, водные ресурсы, водоросли, сточные воды, парниковые газы.

**“ALGAE-BASED WASTEWATER TREATMENT FOR ECOLOGICAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY: CURRENT STATUS
AND FUTURE PROSPECTS”**

Annotation

The article highlights the analysis of scientific research conducted in recent decades on practical solutions using algae-based (biological treatment) methods to address environmental pollution. These studies address the increased demand for freshwater resources due to industrialization, globalization, and population growth, as well as the impact of discharging wastewater containing large amounts of organic and inorganic compounds into natural water bodies. Furthermore, the research explores algae’s potential to mitigate environmental pollution, along with its applications in bioenergy production and the generation of high-value biomolecules.

Key words: climate change, industrialization, globalization, population growth, water resources, algae, wastewater, greenhouse gases.

Kirish. Respublikamizda “yashil” transportga jadallik bilan o‘tilishi, muqobil energiya manbalari ulushining ko‘payishi, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini ishlab chiqarish hajmining oshishi, “Yashil makon” umummilliy loyihasi keng joriy etilishi, shuningdek, “yashil” iqtisodiyotga o‘tish va uglerod neytralligiga erishish Yangi O‘zbekistonning ustuvor strategik maqsadiga aylanganidan dalolat beradi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 24-oktabrdagi PQ- 343- sonli “Ichimlik suv ta‘minoti va oqova suv tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”, 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-sonli “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida” gi Farmoni, O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Maxkamasining 2013-yil 27-maydagi 142-sonli, 2014-yil 20-oktyabrdagi “Biologik resurslardan foydalanishni tartibga solish va tabiatdan foydalanish sohasidagi ruxsat berish tartib tamoyillaridan o‘tish tartibi to‘g‘risida”gi Qarorlariga muvofiq Respublika iste‘molchilarini toza va sifatli ichimlik suv bilan ta‘minlash hamda oqova suv xizmatlarini yaxshilash borasida ko‘rilayotgan izchil choralarni yanada jadallashtirish, ichimlik suv ta‘minoti va oqova suv xizmatlari qamrovini oshirish, sohaning transformatsiya jarayonini jadallashtirish hamda korxonalarining moliyaviy-iqtisodiy ahvolini yanada mustahkamlash maqsadida bir qator vazifalar bajarilishi belgilab o‘tilgan [1-4].

Shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 25-sentabrdagi “Ichimlik suvi ta‘minoti va oqova suv tizimini yanada takomillashtirish hamda sohadagi investitsiya loyihalari samaradorligini oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PF-6074-son Farmoniga [3] muvofiq so‘nggi o‘n yilliklarda sanoatlashuv, globallashuv va aholi sonining o‘shishi chuchuk suv resurslariga talabni ortishiga, tabiiy suv havzalariga oqava suvlarni oqizilishi natijasida ko‘p miqdorda organik va noorganik birikmalar tabiiy komponentlarga jiddiy ta‘sirini oldini olishda suvo‘tlariga asoslangan biorefineriyalarni barcha nuqtai nazardan, atrof-muhit ifloslanishini bartaraf etish potentsialini, shuningdek, bioenergiya va qo‘shimcha qiymatli biomolekulalarni ishlab chiqarish vazifalarini bajarilishi dolzarb muammolaridan biridir.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. Hozirgi vaqtda global isish muammolari tashvishli darajaga ko‘tarilib, iqlim o‘zgarishi natijasida jazirama to‘lqinlar, qurg‘oqchilik va toshqinlar kabi ekstremal ob-havo hodisalari tez-tez va kuchayib bormoqda va inson xavfsizligiga tahdid solmoqda. Ayni paytda, global isish tuproq degradatsiyasi, biologik xilma-xillikning yo‘qolishi, kasalliklarning tarqalishi va suv tanqisligi kabi muammolarni kuchaytirmoqda. Karbonat angidrid (CO_2), Yer atmosferasida mavjud bo‘lgan muhim issiqxona gazi (IG) barcha issiqxona gazlarining 60% gacha, global isishga hissa qo‘shadigan turli inson faoliyati natijasida ortib bormoqda.

Oqova suvlarning turli sohalarda qo‘llanilishi bo‘yicha Avramenko (oqava suvlarini ekologik suv ob‘ektlariga oqizish), Alekseev, V.A. (suv sifatining biologik ko‘rsatkichi, geografik jihati), Nikitina O.G. (faollashgan loy mikroorganizmlarini bosqichma-bosqich hisoblash usuli), Makrushin A.V. (suv sifatining biologik tahlili). Abakumov V.A. (ekologik modifikatsiyalar va biotsenozlarning rivojlanishi, ekologik modifikatsiyalar va atrof-muhitni tartibga solish mezonlari), Upitis V.V. (mikroalglarning mineral oziqlanishini optimallashtirishda makro va mikroelementlar) tomonidan keng yoritib berilgan [5-13].

Daneshvar va shogirdlari tomonidan (2022) uglerod chiqindilarini kamaytirishning mavjud ikkita samarali usuli, muqobil energiyadan foydalanish va uzoq muddatda emissiyalarni kamaytirish uchun CO₂ ni olish va saqlashni kengaytirish bo'yicha tadqiqotlar olib borilgan. Biologik CO₂ fiksatsiyasi atmosferadagi CO₂ ni nazorat qilishga yordam beradi [7-10].

Yuksak o'simliklar bilan solishtirganda, suvo'tlari tezroq o'sishi, moslashuvchanligi va CO₂ ni boshqa quruqlikdagi o'simliklarga qaraganda 10-50 baravar yuqori tezlikda to'g'irlashi mumkinligi Batista [11]; Alami [9] lar ishlarida keltirilgan. Suvo'tlar tarkibida peptidlar, uglevodlar, lipidlar, pigmentlar, vitaminlar va minerallar kabi ko'plab funktsional elementlar mavjud bo'lib, ular turli xil foydali xususiyatlarni ta'minlaydi.

So'nggi bir necha o'n yilliklarda jahon iqtisodiyoti tez sur'atlar bilan o'sishi aholining keskin o'sishi katta tashvish tug'diradi, prognozlariga ko'ra, dunyo aholisi 2030 yilda 8,5 milliardga, 2050 yilda 9,7 milliardga va 2100 yilga kelib 10,9 milliardga etishi hisoblangan (Birlashgan Millatlar Tashkiloti, 2019). Dunyo aholisining ko'payishi bilan katta miqdorda energiya va resurslar iste'mol qilinadi va ifloslanish darajasi keskin ortadi. Ushbu inqirozlarni oldindan bilish va ularga tayyorgarlik ko'rish zarurati ko'plab xalqaro tashkilotlar tomonidan tan olingan va yuqori baholangan. Yashil iqtisodiyot konsepsiyasi 2012-yilda Rio-de-Janeyroda bo'lib o'tgan Birlashgan Millatlar Tashkilotining Barqaror rivojlanish bo'yicha konferentsiyasi davomida ishlab chiqilgan va atrof-muhitni muhofaza qilish ham iqtisodiyotga, ham jamiyatga yordam beradi, degan g'oyaga asoslanadi. Ushbu kontsepsiyaning maqsadi fermerlar va ishlab chiqaruvchilarga barqaror rivojlanish uchun qayta foydalanish va qayta ishlashga asoslangan yashil ishlab chiqarish va iste'mol tizimlarini yaratishga imkon berishdir [6].

Tadqiqot metodologiyasi. Yuqori qiymatli birikmalar ishlab chiqarish uchun oqava suvlarni suvo'tlarning bioremediatsiyasi bugungi kunda juda zarur. Suvo'tlarning bioremediatsiyasining samaradorligi tufayli suv o'tlari yordamida oqava suvlarni kompleks tozalash yaqindan boshlab katta e'tiborni tortdi. Olib borilgan mahalliy va xorijiy ko'plab tadqiqot ishlari ba'zi oqava suvlar (masalan, maishiy, qishloq xo'jaligi va sanoat oqava suvlari) tegishli ozuqa moddalariga boy bo'lib, ular atmosfera va tutun gazlaridan CO₂ yordamida suvo'tlarni etishtirish uchun arzon alternativ ozuqa manbai bo'lib xizmat qilishi (Wollmann, 2019; Chu, 2021; Li, 2022; Kadir va boshq., 2018; Xiaogang va boshqalar, 2020; Chu va boshqalar., 2021; Wyffels va Barbosa, 2010 lar tomonidan qo'llanilgan[8-13].

Tablil va natijalar. So'nggi yillarda chiqindilarni suvo'tlarni o'sishi uchun oziq moddalar manbai sifatida ishlatish, aylanma iqtisodiyot kontsepsiyasini targ'ib qilish va jarayonning barqarorligini oshirish yakuniy biomassa konsentratsiyasi, mahsuldorlik bo'yicha oziq moddalarni tashlash samaradorligi, inkubatsiya vaqti va suvo'tlarni ishlab chiqarish nuqtai nazaridan har xil turdagi oqava suvlarda suvo'tlarning roli keying yillarda AQSH, Rossiya, Xitoy da juda yuqori baholanmoqda.

Katta hajmdagi oqava suvlarning tarkibida zararli ifloslantiruvchi moddalar bu uning yuqori biologik kislorod talabi (BKT) va kimyoviy kislorod talabi (KKT) tufayli atrof-muhit muvozanatini buzadi. Ortiqcha oziq moddalar, ayniqsa azot (N) va fosfor (P) suvning evtrofikatsiyasiga olib keladi, bu dunyodagi eng qiyin ekologik muammolardan biri hisoblanadi (Yang va boshq. 2008). Bu hodisa qattiq maishiy chiqindilar va qo'shimcha mahsulotlarning paydo bo'lishi, havoga zaharli mahsulotlarning chiqarilishi, suvda yashovchi hayot shakllariga tahdid soluvchi istalmagan suvo'tlarning haddan tashqari ko'payishi, yer osti suvlarining ifloslanishi kabi ekologik muammolarni keltirib chiqaradi, bu esa dengizga yaqin hududlarda keng tarqalgan sog'liq muammolariga olib keladi (Amenorfeno va boshq., 2019). Atrof-muhit ifloslanishini kamaytirish uchun oqava suvlarni tozalash (Rasul-Amini va boshqalar, 2014), chiqindilarni tozalash shahar atrof-muhitining barqarorligi uchun muhim himoyani ta'minlaydi.

Oqava suvlarni tozalashning asosiy maqsadi suvda mavjud bo'lgan ifloslantiruvchi moddalarni, masalan, uglerodli (organik; asosan biologik kislorodga bo'lgan talab (BKT)) materiallar, azot (N) va fosfor (P) birikmalarini qabul qilish tizimlarda (Grady va boshq., 2011; Piter va boshq., 2021) sezilarli o'zgartiradi [7].

Oqava suvlarni tozalashda suvo'tlardan foydalanish barqaror variant bo'lib, u 50 yildan ortiq vaqt davomida suvo'tlardan bioyoqilg'i kabi foydali kimyoviy birikmalar ishlab chiqarish, shuningdek oqava suvlarni tozalash nuqtai nazaridan keng o'rganilib kelinmoqda, chunki u karbonat anhidridni (CO₂) samarali konvertatsiya qilishga imkon beradi hamda bioyoqilg'i mahsulotlari va kimyoviy moddalar ifloslantirmaydi va issiqxona gazlari chiqindilarini kamaytirishi mumkin. Bundan tashqari, ushbu produtseduralar yuqori operatsion xarajatlar va kimyoviy operatsiyalar natijasida ikkilamchi chiqindilarni hosil qilish kabi an'anaviy oqava suvlarni tozalashning kamchiliklaridan ustundir (Rasul-Amini va boshq., 2014; Srimongkol va boshq., 2019; Aketo va boshq., 2020; Chai va boshq., 2021; Rasul-Amini va boshq., 2014). Oqava suvlar tarkibiga turli oqava suvlarni ishlab chiqarish usullari va utilitatsiya qilish tizimlari sezilarli darajada ta'sir qilishi mumkin (Bhatia va boshq., 2021). Oqava suvlarning tarkibi suvo'tlarning rivojlanishiga, ifloslantiruvchi moddalarni olib tashlash tezligiga va turli hujayra ichidagi birikmalar (uglevodlar, oqsillar va lipidlar) shakllanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Oqava suvdagi uglerod manbai, organik yoki noorganik uglerod, makroelementlar, azot, fosfor, mikroelementlar, vitaminlar va mikroelementlar mikroalgning ifloslantiruvchi moddalarni olib tashlash va rivojlanish qobiliyatiga ta'sir qiladi (Ahmad va boshq., 2022; Siz va boshq., 2022). Adabiyotda ko'rsatilgan suvo'tlarni ishlab chiqarish uchun keng qo'llaniladigan oqava suvlarni manbalariga ko'ra tasniflash mumkin, jumladan, shahar, qishloq xo'jaligi va sanoat oqava suvlarini (Chiu va boshq., 2008; Liu va Hong, 2021) suvo'tlari yordamida sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash mumkin. (1-jadval).

1-jadval

Turli xil o'stirish tizimlarida CO₂ fiksatsiyasida suvo'tlarigan foydalanish

Suvo'tlari	O'stirish tizimi	Ozuqa muhiti	CO ₂ fiksatsiyasi	CO ₂ fiksatsiya koeffitsiyenti (g/L/d-1)	Tavsiyalar
Chlorella sp	Yoritilgan inkubatsiya kamerasi	-	15%	0.097	Kassim, M. A., Meng, I. K. (2017).
Suvo'tlarning holati	Yuqori hosildorlik (Yul)	Labi suv	-	0.159	Tsai, D.D.W., Chen, P.H., and Ramaraj, R. (2017).
Chlorella sp. UKM2	O'stirish uchun shisha idishlar	Pal'ma yog'i ishlab chiqarish zavod oqava suvlari	10%	0.829	Hair va boshq. (2019)
Chlorella sp.	Ko'pikli ustunli fotobioreaktorlar	Maishiy chiqindi suvlari va parrandachilik chiqindilari	Tarkibida tutun gaz	0.261	Yadav, G., Panda, S. P., va Sen, R. (2020).
Chlorella vulgaris	Ko'pikli ustunli fotobioreaktorlar	BG-11 muhiti	7%	0.633%	Banarjee va boshq. (2020)
Ochiq suv hovuzlari limyalari	Ochiq suv hovuzlari limyalari	BG-11 muhiti	5%	0.290	Yu va boshq. (2020)
S. almeriensis	Vertikal qabariq fotobioreaktori (VBC-PBR)	O'zgartirilgan Mann va Myers muhiti	3% N ₂ bilan va O ₂ aralashiriladi	0.240	Modino va boshq. (2019)

Xalqaro energetika agentligining (XEA) 2021 yilgi Global energiya istiqboliga ko'ra, global energiya CO₂ emissiyasi qayta ko'tarilishi va 4,8% ga oshishi kutilmoqda (XEA, 2021). Global CO₂ emissiyasi asosiy global muammo bo'lib, issiqxona gazlari konsentratsiyasining ortishi tufayli global isishning asosiy harakatlantiruvchi kuchi hisoblanadi. Suvo'tlari fotosintez orqali CO₂ ni bioenergiyaga aylantira oladi. CO₂ni suvo'tlar tomonidan sekvestrlash ekologik toza va barqaror usuldir (Brillman va boshq. 2013).

Suvo'tlari makkajo'xori, soya va shakarqamishdan, qazib olinadigan yoqilg'i va birinchi avlod bioyoqilg'idan foydalanishni qoplashi mumkin bo'lgan bioqayta tiklanadigan energiya manbalarini ishlab chiqarish uchun istiqbolli xom ashyo hisoblanadi. Hozirgi vaqtda suvo'tlar bioyoqilg'i ishlab chiqarish kabi toza texnologiyalarning kombinatsiyasi atrof-muhitga deyarli hech qanday chiqindilar chiqarilmasligiga imkon

beradi (Vang va boshq. 2022). Suvo'tlaridan foydalangan holda CO₂ sekvestrining ekologik foydalari bo'lsa-da, u CO₂ ni ushlab va tashishning yuqori xarajatlari, shuningdek, suvo'tlarini o'stirishda CO₂ ning sezilarli yo'qotishlari ham cheklanadi.

Iqtisodiy tahlil shuni ko'rsatdiki, ikkita uglerod manbasini birlashtirish uglerod sotib olish xarajatlarini sezilarli darajada kamaytirdi, uglerod manbai sifatida atigi 1% (v/v) CO₂ ishlatgan holda 1,37 kg - \$1 dan 1% (v/v) yordamida 0,86 kg - 1 AQSh dollariga tushdi. Ekologik barqarorlikka erishish uchun toza energiyadan foydalangan holda butun suvo'tlari zavodini boshqarish uchun muhim nuqta sifatida ko'rib chiqilishi kerak (Vang va boshq. 2022). Bu muammoni potentsial yechimi chiqindi suvlarni tozalashni tezlashtirish uchun suvo'tlari va boshqa mikroorganizmlarni birgalikda etishtirishdan foydalanish hisoblanadi (Mohsenpour va boshq., 2021).

Xulosa va takliflar. Suvo'tlar fotosintetik mikroorganizmlar bo'lib, turli oqava suvlarni bioremediatsiya qilishda muhim rol o'ynaydi, shu jumladan N, P va C ni yo'qotish, BKTni kamaytirish, shuningdek, og'ir metallarni o'zlashtirish, suvo'tlarni ko'p turdagi oqava suvlarga integratsiyalash oqava suvlarni tozalash xarajatlarini va energiya sarfini kamaytirishi, mavjud an'anaviy oqava suvlarni tozalash jarayonlariga nisbatan ekologik barqarorlikni ta'minlashga erishish mumkin. Bundan tashqari, integratsiyalangan suvo'tlari asosida biologik tozalash nafaqat ekologik muammolarni hal qiladi, balki bioyoqilg'i, biodizel va boshqa qimmatli birikmalar kabi yuqori qo'shimcha qiymatga ega ekologik toza mahsulot sifatida xom-ashyo manbai hisoblanadi.

ADABIYOTLAR

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 24-oktabrdagi PQ- 343- sonli "Ichimlik suv ta'minoti va oqova suv tizimini yanada takomillashtirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" Qarori.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-sonli "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida" gi Farmoni.
3. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 25-sentabrdagi PF-6074-sonli "Ichimlik suvi ta'minoti va oqova suv tizimini yanada takomillashtirish hamda sohadagi investitsiya loyihalari samaradorligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi Farmoni.
4. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Maxkamasining 2013-yil 27-maydagi 142-sonli, 2014-yil 20-oktyabrdagi "Biologik resurslardan foydalanishni tartibga solish va tabiatdan foydalanish sohasidagi ruxsat berish tartib tamoyillaridan o'tish tartibi to'g'risida" gi Qarori
5. Ахмад, С. Ф., Мофиджур, М., Париса, Т. А., Ислам, Н., Кусумо, Ф., Инаят, А. и др. Прогресс и проблемы в области удаления загрязнений из сточных вод с использованием биомассы микроводорослей. 2022. Хемосфера 286, 131656. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131656
6. Zeng, X., Danquah, M. K., Chen, X. D. va Yinghua, L. Mikroalglar biomuhandisligi: CO₂ fiksatsiyasidan bioyoqilg'i ishlab chiqarishgacha. Yangilash. Barqarorlik. Energiya rev. 15, 3252–3260. doi: 10.1016/j.rser.2011.04.014
7. Алами, А. Х., Аласад, С., Али, М. и Альшамси, М. Исследование водорослей на улавливание и накопление CO₂ и одновременное производство биомассы для производства биодизеля. 2021. Наука. Общая экология. 759, 143529. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143529
8. Басу С., Рой А. С., Моханти К. и Гошал А. К. Био-фиксация CO₂ и активность карбоангидразы в *Scenedesmus obliquus* SA1, выращиваемом в крупномасштабной открытой системе. 2019. Биоресурс. Технология. 164, 323-330. doi: 10.1016/j.biortech.2014.05.017
9. Батиста, А. П., Амбросано, Л., Граса, С., Соуза, С., Маркес, П. А., Рибейро, Б. и др. Сочетание очистки городских сточных вод с производством биоводорода - комплексный подход на основе микроводорослей. Биоресурс. Технология. 184, 230-235. doi: 10.1016/j.biortech.2014.10.064
10. Бекельс А., Смолдерс Э. и Муйлаерт К. Доступность азота влияет на удаление фосфора при очистке сточных вод на основе микроводорослей. Водное решение. 77, 98-106. doi: 10.1016/j.watres.2015.03.018
11. Бхаттачарья М. и Госвами С. Микроводоросли – экологически чистое многопродуктовое биоочистное средство для будущих промышленных перспектив. Биокатал. Сельское хозяйство. Биотехнология. 25, 101580. doi: 10.1016/j.bcab.2020.101580
12. Цзэн, Х., Данкуа, М.К., Чен, Х.Д., и Инхуа, Л. Бионженерия микроводорослей: от фиксации CO₂ до производства биотоплива. 3252–3260. doi: 10.1016/j.rser.2011.04.014
13. Чай, У. С., Тан, У. Г., Мунаварох, Х. С. Х., Гупта, В. К., Хо, С. Х., и Шоу, П. Л. Многогранная роль микроводорослей в применении методов биологической обработки сточных вод: обзор. Environ. Pollut. 269, 116236. doi: 10.1016/j.envpol.2020.116236