



М.Н. Сыздыкова*, А.У. Исаева

М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті,
160021, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тауке хан 5
*e-mail: maksat.marzhan@mail.ru

АҒЫНДЫ СУДЫ ТАЗАЛАУДА ПАЙДАЛАНЫЛАТЫН *ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS* АСН 1 БАКТЕРИЯЛЫҚ ШТАМЫНЫҢ ТЕМІРДІ БИОХИМИЯЛЫҚ ТОТЫҚТЫРУ ЖЫЛДАМДЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: Бұл мақалада ағынды суды микроағзалармен биохимиялық тазалау мәселесі қарастырылған. Ағынды суды тазалауда пайдаланылатын темірбактериясының темірді тотықтыру жылдамдығы қоршаған орта факторы, соның ішінде температураға байланысты екендігі зерттелген. Ең көп таралған және қолжетімді тазарту әдістерінің бірі – минералды коагулянттарды (алюминий және темір тұздары) және флокулянттарды қолдана отырып, өндірістік ағынды суларды тазарту. Коагулянттар мен флокулянттардың негізгі мақсаты бөлшектердің мөлшерін олардың бір-біріне жабысуына (агрегациясына) байланысты ұлғайту және соның салдарынан суды сүзу, тұндыру, флотация арқылы тазарту тиімділігін арттыру болып табылады. Біз *Acidithiobacillus ferrooxidans* бактерияларының культуралық сұйықтығын кәсіпорындардың ағынды суларын металл иондарынан және кейбір органикалық ластаушы заттардан тазарту үшін коагулянт ретінде пайдалануға ұсынамыз. *A.ferrooxidans* энергия көзі ретінде Fe^{2+} пайдаланады, сондықтан ортадағы Fe^{2+} концентрациясы бактериялардың көбеюіне әсер етуі мүмкін. Бактериялар екі валентті темірді – үш валентті темірге дейін тотықтыру барысында өзінің зат алмасуына қажетті энергияны алады. Тотықтыру барысында алынған үш валентті темірді ағынды суды тазалауда биокоагулянт ретінде пайдалану мүмкіндігі бар. Мақалада темірдің бактериялар арқылы биохимиялық тотығуы үшін оптималды температурасы көрсетілген.

Түйін сөздер: коагуляция, ағынды су, тионды бактериялар, тотығу, *Acidithiobacillus ferrooxidans*.

Кіріспе

Су қауіпсіздігі ХХІ ғасырдың негізгі жаһандық мәселелерінің бірі болып табылады. Жыл сайын демографиялық өсу, экономикалық-әлеуметтік даму сияқты факторлардың әсерінен суды тұтыну қажеттілігі 1%-ға артуда [1].

Қазақстан үшін су қауіпсіздігі келесідей бірқатар факторларға байланысты ерекше мәселе болып табылады: еліміздің географиялық жағдайы, оның трансшекаралық өзендерге тәуелділігі, қоршаған ортаның нашарлауы, жергілікті климаттың өзгеруі.

Негізгі су тұтынушылар: өнеркәсіптер, қалалық және ауылдық коммуналдық шаруашылықтар, суармалы егіншіліктің қажеттіліктері.

Өндіріс орындары жылына су жиғыштағы $5,7-6,1 \text{ км}^3$ су көлемінің шамамен $5,1-5,5 \text{ км}^3$ суын пайдаланады, бұл су жиғыштың 20-25%-н құрайды. Суды тұтынудың ең үлкен үлесі – жылу энергетикасы, мұнай өнеркәсібі, металлургияға жатады. Суды қайтарымсыз пайдалану, жылына жалпы судың үштен бірін немесе $1,0-1,5 \text{ км}^3$ құрайды.

Ауыл шаруашылығы жыл сайын судың $0,7-0,9 \text{ км}^3$ немесе жалпы су қорының 3-4%-н тұтынады. Қалалық елді мекендердің суды тұтыну көрсеткіші – 55% болса, ауылдық тұрғындар 11% құрайды [2].

Қазіргі таңда кез келген елді мекендерге тазарту қондырғылары қажет, бұл пайдаланылған суды қоршаған ортаға еңбес бұрын тазартуға мүмкіндік береді. Бірақ тазарту қондырғыларының жетіспеушілігі және ескіргеніне байланысты, ластанған судың қоршаған ортаға енуі жағымсыз салдарға алып келеді [3].

Қазіргі уақытта ағынды суды тазалаудың көптеген әдістері бар [4]. Ағынды сулар келесідей әдістермен тазартылады: механикалық, физика-химиялық және биологиялық. Механикалық тазалау бастапқы әдіс болып табылады және үлкен механикалық қоспаларды кетіруге арналған [5]. Келесі кезең-химиялық заттардан тазарту, әртүрлі қышқылдар мен сілтілерді кетіру [6]. Биологиялық әдісте ластаушы заттармен және химиялық реагенттер қоректенетін микроорганизмдер қолданылады [7].

Ең көп таралған және қол жетімді тазарту әдістерінің бірі – минералды коагулянттарды (алюминий және темір тұздары) және флокулянттарды қолдана отырып, өндірістік ағынды суларды тазарту. Коагулянттар мен флокулянттардың негізгі мақсаты бөлшектердің мөлшерін олардың бір-біріне жабысуына (агрегациясына) байланысты ұлғайту және соның салдарынан суды сүзу, тұндыру, флотация арқылы тазарту тиімділігін арттыру болып табылады [8].

Аталған әдісте қолданылатын химиялық коагулянт өзінің қымбаттылығымен белгілі және экономикалық жағынан тиімсіз болып табылады.

Биохимиялық тазалау әдістерінде әдетте гетеротрофты және автотрофты микроағзаларды пайдаланады. *Acidithiobacillus ferrooxidans* бактерияларының культуралық сұйықтығын кәсіпорындардың ағынды суларын металл иондарынан және кейбір органикалық ластаушы заттардан тазарту үшін коагулянт ретінде пайдалануға болады [9].

A. ferrooxidans энергия көзі ретінде Fe^{2+} пайдаланады, сондықтан ортадағы Fe^{2+} концентрациясы бактериялардың көбеюіне әсер етуі мүмкін. Бактериялар екі валентті темірді – үш валентті темірге дейін тотықтыру барысында өзінің зат алмасуына қажетті энергияны алады. Тотықтыру барысында алынған үш валентті темірді ағынды суды тазалауда биокоагулянт ретінде пайдалану мүмкіндігі бар [10].

A. ferrooxidans темір бактериялары қышқыл орта жағдайында темірді тотықтыра алады. Қолайлы орта жағдайында екі валентті темірдің бактериялық тотығу жылдамдығы, химиялық тотығу жылдамдығына қарағанда 100-400 мың есе жоғары болып табылады. Қоректік ортада бактериялардың көбеюін қамтамасыз ететін Fe^{2+} минималды мөлшері – 125 мг/л болып табылады [11].

A. ferrooxidans темір бактериясы 10-дан 40°C-қа дейінгі температурада өсе алады, бірақ өсу үшін оңтайлы температура шамамен 30°C. Себебі бұл температурада темірдің тотығу жылдамдығы жоғары болады. Темір бактериялардың қышқыл ортада тіршілік етіп көбеюіне байланысты, темірді биохимиялық тотықтыруы үшін оңтайлы рН орта – $2\pm 0,5$ [12]. *A. ferrooxidans* – аэробты микроағза болғандықтан, темірді тотықтыру процесі үшін жеткілікті оттегі мөлшері болуы қажет [13].

Зерттеу жұмысының мақсаты *A. ferrooxidans* *Ach 1* темір бактериясының өсуіне қажетті оңтайлы температураны анықтау арқылы, екі валентті темірдің үш валентті темірге дейін тотығу жылдамдығын анықтау.

Зерттеу нысаны мен әдістері

A. ferrooxidans *Ach 1* – кейде жұпта орналасқан, көбінесе жалғыз, өлшемі $0,4 \times (0,8-1)$ мкм болатын қысқа таяқшалар түрінде болатын тион бактериясы. Грам теріс боялған, спора түзбейді. Бір полярлы флагелласы бар. Көбеюі көлденең бөліну арқылы жүреді. Ащысай кентінде орналасқан полиметалл қождарынан бөлінген.

Тион бактерияларын оқшаулау және өсіру. *A. Ferrooxidans* *Ach 1* штаммы Сильверман-Люндгрэн 9К қоректік ортасында дақылдандырылды. Қоректік ортаның құрамы келесідей г/л: $(NH_4)_2SO_4$ -2,0; K_2HPO_4 -1,0; $MgSO_4$ -0,5; $NaCl$ -0,2; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 44,2; H_2O -1л; қоректік ортаның рН-ы H_2SO_4 –пен 1,0-ге дейін жеткізілді. Қоректік ортаға бактериялық штаммның суспензиясы – 5:1 қатынасында енгізілді, өсіру аэропомп көмегімен үздіксіз аэрация режимінде $NaKO$ – 1/80 СПУ ТУ 9452-002-00141798-97 маркалы термостатта 25-30°C температурада жүзеге асырылды.

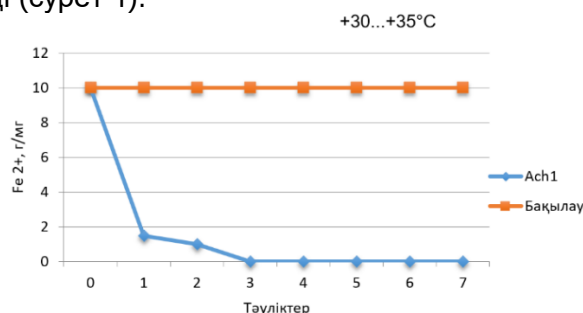
ДНҚ-дағы Г+Ц мөлшері 48-68 моль. % аралығында болады. Бактериялардың титрі 107-108 кл/мл. Тионды бактериялардың өсуін, сұйық ортаның түсінен байқадық. Сұйық қоректік орта алдымен мөлдір түсті, кейіннен темір оксидтерінің пайда болуына байланысты қызғылт қоңыр түске айналды. Сұйық қоректік ортада күкіртпен бірге біркелкі бұлыңғырлық болды, ал ортаның қышқылдық деңгейі – рН 1.0-1.5-ге дейін төмендеді.

Бактериялардың белсенділігін екі валентті темірдің тотығу дәрежесіне қарай трилонометриялық әдіспен және УК/көрінетін CARY50 аймағының сканерлік спектрофотометрмен анықталды. Стандартты үлгі MEMCT 673-21 талабына сай дайындалды.

Зерттеу нәтижелері мен талқылаулар

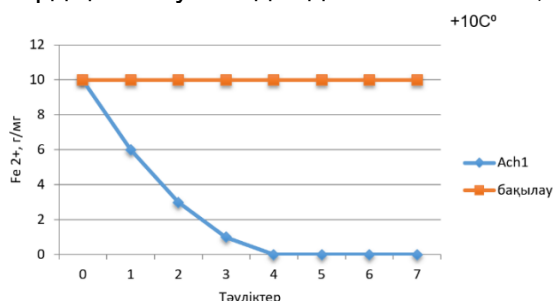
A. ferrooxidans *Ach 1* бактериялық штамының белсенділігі екі валентті темірдің – үш валентті темірге дейін биологиялық тотықтыру жылдамдығына байланысты. *A. Ferrooxidans* *Ach 1* бактериясының темірді тотықтыру жылдамдығы: +5 C°; +10C°; +30...+ 35 C° 3 түрлі температуралық режимде зерттелді. Түрлі температура жағдайында темірдің бактериялармен

тотығу жылдамдығын зерттеу нәтижесінде оңтайлы температура $+30^{\circ}$ $+35^{\circ}\text{C}$ екендігі анықталды. *A.ferrooxidans Ach 1* бактериялық штамының Fe^{2+} тотықтыру жылдамдығы сағатына $0,5 \pm 0,1$ г/л құрап, екі валентті темірдің бастапқы мөлшерінен 1 – тәулікте 5,5 есеге, ал 2 – тәулікте 6 есеге төмендеді (сурет 1).



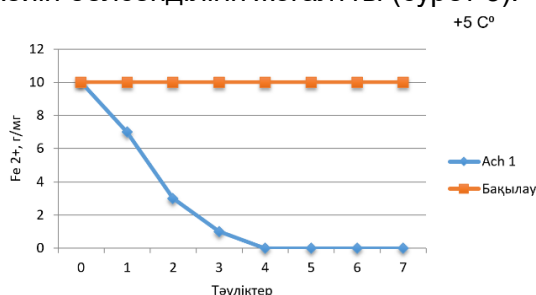
Сурет 1 – Ach1 штамының екі валентті темірді $+30^{\circ}$... $+35^{\circ}\text{C}$ температурада тотықтыру динамикасы

A. Ferrooxidans Ach 1 штамы – температураны $+10^{\circ}\text{C}$ -ге дейін төмендеткенде екі валентті темірді тотықтыру жылдамдығы бастапқы концентрациядан 3 күнде 3 есеге төмендегені анықталды, темірдің тотығу жылдамдығы сағатына 0,1 г/л құрады (сурет 2).



Сурет 2 – Ach1 штамының екі валентті темірді $+10^{\circ}\text{C}$ температурада тотықтыру динамикасы

A. Ferrooxidans Ach 1 штамының – температураны $+5^{\circ}\text{C}$ -ге дейін төмендеткенде екі валентті темірді тотықтыру жылдамдығы сағатына 0,1 г/л құрады. $+5^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ температурада бактериялар 3 – тәуліктен кейін белсенділігін жоғалтты (сурет 3).



Сурет 3 – Ach1 штамының екі валентті темірді $+5^{\circ}\text{C}$ температурада тотықтыру динамикасы

A. Ferrooxidans Ach 1 штамының екі валентті темірді тотықтыру дәрежесін УК/көрінетін CARY50 аймағының сканерлік спектрофотометрмен талдау нәтижесінде, сынамалардың құрамында екі валентті темірдің мөлшері азайғандығы анықталды. Темірді биохимиялық тотықтыру процесі $+30^{\circ}\text{C}$ температурада, үздіксіз аэрациялау режимінде, $\text{pH } 2 \pm 0,5$ ортада жүргізілді. Талдау 4 ретті қайталанумен жүргізіліп, нәтижелері төмендегі кестеде көрсетілген (кесте 1):

Кесте 1 – Бактериялық суспензия үлгілеріндегі Fe^{2+} мөлшері

Үлгі №	Fe^{2+} мөлшері, мг/л
1	0,1577
2	0,1585
3	0,1581
4	0,1576

Үлгілердің құрамындағы екі валентті темірдің бастапқы мөлшері 44,2 г/л болса, берілген көрсеткіштерге байланысты *A.ferrooxidans Ach 1* бактерияларының тіршілік әрекетінің әсерінен екі валентті темірдің биохимиялық тотығының нәтижесінде мөлшері 0,1579 мг/л-ге дейін төмендегені анықталды.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде микроағза штамдарымен екі валентті темірдің биологиялық тотығу процесінде температуралық фактордың айтарлықтай ықпал ететіндігі анықталды. Әр түрлі температуралар диапазонында зерттеу барысында оңтайлы температура +30...+35°C болып табылды. *A.ferrooxidans Ach 1* бактериялық штамының екі валентті темірді +30...+35°C температура режимінде тотықтырғанда, темірдің мөлшері бастапқы мөлшерінен 2-тәулікте 6 есеге төмендесе +10°C температурада 3 тәулікте 3 есеге төмендегіні белгілі болды. *A.ferrooxidans Ach 1* темір бактериясының өсуіне қажетті оңтайлы температураны анықтау арқылы, екі валентті темірдің үш валентті темірге дейін тотықтыру ең үлкен жылдамдығы сағатына 0,5±0,1 г/л екені белгілі болды.

Әдебиеттер тізімі

1. Современное состояние и проблемы очистки сточных вод в Казахстане / Т.С. Жылқыбаев и др. // Вестник КазАТК. – 2023. – № 4. – С. 514-523.
2. Қоршаған орта статистикасы [Электрон.ресурс]. 2023. URL: <https://stat.gov.kz/industries/environment/stat-eco/>.
3. Removal of oil and grease as Emerging Pollutants of Concern (EPC) in wastewater stream / T.J. Alade et al // IJUM Engineering Journal. – 2011. – V. 12, № 4. – P. 161-169.
4. Бурыкин А.В. Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов / А.В. Бурыкин, В.В. Козлов // В мире научных открытий. – 2012. – № 2 – С. 99-102.
5. Маркитанова Л.И. Водоснабжение и очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности / Л.И. Маркитанова. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. – 134 с.
6. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. – Москва: Химия, 2011. – 384 с.
7. Бондарев А.А. Биологические и физико-химические методы очистки сточных вод.– Москва: ВИНТИ, 2012. – 341с.
8. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – Москва: Акварос, 2011. – 213 с.
9. Fe₂(SO₄)₃ and Bentonite Use to Reduce COD Indicators in Wastewater Containing Detergents / A.U. Issayeva et al // Journal of Ecological Engineering (JEE). – 2022. – № 23(3). – P. 68-73. <https://doi.org/10.12911/22998993/145468>.
10. Acidithiobacillus ferrooxidans and its potential application / S. Zhang et al // Extremophiles. – 2018. – № 22. – P. 563-579.
11. Taskarayeva K.A. The use of bacterial suspension of Thiobacillus ferrooxidans for wastewater treatment / K.A. Taskarayeva, A.U. Isayeva, V.K. Bishimbayev // Theoretical and applied ecology – 2008. – № 3. – P. 69-73.
12. Biological materials formed by Acidithiobacillus ferrooxidans and their potential applications in metal extraction / L. Chen et al // Biotech. – 2020. – № 10. – P. 463.
13. Acidithiobacillus ferrooxidans / J. Valdés et al // BMC Genomics. – 2008. – № 9. – P. 597.

References

1. Sovremennoe sostoyanie i problemy ochistki stochnykh vod v Kazakhstane / T.S. Zhylykbaev i dr. // Vestnik KaZATK. – 2023. – № 4. – S. 514-523. (In Russian).
2. Korshagan orta statistikasy [Ehlektron.resurs]. 2023. URL: <https://stat.gov.kz/industries/environment/stat-eco/>. (In Kazakh).
3. Removal of oil and grease as Emerging Pollutants of Concern (EPC) in wastewater stream / T.J. Alade et al // IJUM Engineering Journal. – 2011. – V. 12, № 4. – P. 161-169. (In English).
4. Burykin A.V. Metody ochisti stochnykh vod ot nefteproduktov / A.V. Burykin, V.V. Kozlov // V mire nauchnykh otkrytii. – 2012. – № 2 – S. 99-102. (In Russian).
5. Markitanova L.I. Vodosnabzhenie i ochistka stochnykh vod predpriyatii pishchevoi promyshlennosti / L.I. Markitanova. – SPb.: SPBGUNIPT, 2006. – 134 s. (In Russian).
6. Lur'e YU.YU. Analiticheskaya khimiya promyshlennykh stochnykh vod / YU.YU. Lur'e. – Moskva: Khimiya, 2011. – 384 s. (In Russian).

7. Bondarev A.A. Biologicheskie i fiziko-khimicheskie metody ochistki stochnykh vod.— Moskva: VINITI, 2012. — 341s. (In Russian).
8. Zhmur N.S. Tekhnologicheskie i biokhimicheskie protsessy ochistki stochnykh vod na sooruzheniyakh s aehrotenkami / N.S. Zhmur. — Moskva: Akvaros, 2011. — 213 s. (In Russian).
9. Fe₂(SO₄)₃ and Bentonite Use to Reduce COD Indicators in Wastewater Containing Detergents / A.U. Issayeva et al // Journal of Ecological Engineering (JEE). — 2022. — № 23(3). — R. 68-73. <https://doi.org/10.12911/22998993/145468>. (In English).
10. Acidithiobacillus ferrooxidans and its potential application / S. Zhang et al // Extremophiles. — 2018. — № 22. — R. 563-579. (In English).
11. Taskarayeva K.A. The use of bacterial suspension of Thiobacillus ferrooxidans for wastewater treatment / K.A. Taskarayeva, A.U. Isayeva, V.K. Bishimbayev // Theoretical and applied ecology — 2008. — № 3. — R. 69-73. (In English).
12. Biological materials formed by Acidithiobacillus ferrooxidans and their potential applications in metal extraction / L. Chen et al // Biotech. — 2020. — № 10. — R. 463. (In English).
13. Acidithiobacillus ferrooxidans / J. Valdés et al // BMC Genomics. — 2008. — № 9. — R. 597. (In English).

Бұл зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасының Ғылым және Жоғары Білім министрлігінің № AP22685211 «Органика құрамды ағын суларды хемотрофты микроағзаларды пайдалану арқылы биологиялық тазарту технологиясы» гранты бойынша қаржыландырылды.

М.Н. Сыздыкова*, А.У. Исаева

Южно-Казахстанский Университет имени М. Ауэзова,
160021, Республика Казахстан, г. Шымкент, Тауке хан 5

*e-mail: maksat.marzhan@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ БИОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА БАКТЕРИАЛЬНЫМ ШТАММОМ ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS ACH 1, ИСПОЛЬЗУЕМЫМИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В данной статье были рассмотрены вопросы биохимической очистки сточных вод бактериями. Было исследовано, что скорость окисления железа бактериями, используемыми при очистке сточных вод, зависит от фактора окружающей среды, в том числе температуры. Одним из наиболее доступных и распространенных методов очистки сточных вод, является очистка с использованием минеральных коагулянтов (солей алюминия и железа) и флокулянтов. Основным назначением коагулянтов и флокулянтов является увеличение размера частиц за счет их адгезии (агрегации) и, как следствие, повышение эффективности очистки за счет фильтрации, осаждения и флотации воды. Мы рекомендуем культуральную суспензию бактерий Acidithiobacillus ferrooxidans использовать в качестве коагулянта для очистки сточных вод предприятий от ионов металлов и некоторых органических загрязнителей. A.ferrooxidans использует Fe²⁺ в качестве источника энергии, поэтому концентрация Fe²⁺ в среде может влиять на рост бактерий. В процессе окисления двухвалентного железа до трехвалентного железа бактерии получают энергию, необходимую для их метаболизма. Трехвалентное железо, полученное в процессе окисления, может использоваться в качестве биокоагулянта при очистке сточных вод. В статье показана оптимальная температура для биохимического окисления железа бактериями.

Ключевые слова: коагуляция, сточная вода, тионовые бактерии, окисление, Acidithiobacillus ferrooxidans.

M.N. Syzdykova*, A.U. Isayeva

M. Auezov South Kazakhstan University,
160021, Republic of Kazakhstan, Shymkent, Tauke khan 5

*e-mail: maksat.marzhan@mail.ru

INVESTIGATION OF THE RATE OF BIOCHEMICAL OXIDATION OF IRON BY THE BACTERIAL STRAIN ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS ACH 1 USED FOR WASTEWATER TREATMENT

This article discusses the issue of biochemical wastewater treatment by microorganisms. It has been investigated that the rate of iron oxidation by bacteria used in wastewater treatment depends on environmental factors, including temperature. One of the most common and affordable treatment methods is the treatment of industrial wastewater using mineral coagulants (aluminum and iron salts) and flocculants. The main purpose

of coagulants and flocculants is to increase the particle size due to their adhesion (aggregation) and, as a result, to increase the efficiency of purification due to filtration, precipitation, and flotation of water. We recommend using the culture liquid of *Acidithiobacillus ferrooxidans* bacteria as a coagulant for wastewater treatment of enterprises from metal ions and some organic pollutants. *A. ferrooxidans* uses Fe^{2+} as an energy source, so the concentration of Fe^{2+} in the medium can affect the growth of bacteria. In the process of oxidation of ferrous iron to trivalent iron, bacteria receive the energy necessary for their metabolism. Trivalent iron obtained during the oxidation process can be used as a biocoagulant in wastewater treatment. The article shows the optimal temperature for biochemical oxidation of iron by bacteria.

Key words: coagulation, wastewater, thion bacteria, oxidation, *Acidithiobacillus ferrooxidans*.

Авторлар туралы мәліметтер

Маржан Нурлановна Сыздыкова* – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Экология» кафедрасының докторанты; М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан, Шымкент; e-mail: maksat.marzhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9603-9743>.

Акмарал Умирбековна Исаева – биология ғылымдарының докторы, «Экология» кафедрасының профессоры; М. Әуезов атындағы ОҚУ; Қазақстан, Шымкент; e-mail: akissayeva@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8323-3982>.

Сведения об авторах

Маржан Нурлановна Сыздыкова – Южно-Казахстанский Университет им. М. Ауэзова; Казахстан, Шымкент; магистр естественных наук, докторант кафедры «Экология»; e-mail: maksat.marzhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9603-9743>.

Акмарал Умирбековна Исаева – доктор биологических наук, профессор кафедры «Экология»; Южно-Казахстанский Университет им. М. Ауэзова; Казахстан, Шымкент; e-mail: akissayeva@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8323-3982>.

Information about the authors

Маржан Нурлановна Сыздыкова* – M. Auezov South Kazakhstan University; Republic of Kazakhstan, Shymkent; master of Natural Sciences, Doctoral student of the Department of Ecology; e-mail: maksat.marzhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9603-9743>.

Акмарал Умирбековна Исаева – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Ecology; M. Auezov South Kazakhstan University; Republic of Kazakhstan, Shymkent; e-mail: akissayeva@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8323-3982>.

Редакцияға енуі 04.10.2024

Өңдеуден кейін түсуі 23.01.2025

Жариялауға қабылданды 24.01.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1\(17\)-50](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-50)

IRSTI: 87.21.09; 87.21.23



D.Kh. Yuldashbek*, D.K. Sunakbaeva

Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University,
016200, Republic of Kazakhstan, Turkestan, 29/3 Sattarkhanov Avenue

*e-mail: davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz

EFFECTS OF PHYTOREMEDIATION ON ENZYMATIC ACTIVITY AND FERTILITY RESTORATION IN CADMIUM-CONTAMINATED SOIL

Abstract: This study is dedicated to the investigation of phytoremediation of cadmium-contaminated soil using carrot (*Daucus carota* L.) and vermicompost. The paper discusses methods for modeling soil contamination and determining cadmium translocation in plants, as well as the impact of phytoremediation on the activity of soil enzymes, such as catalase, urease, dehydrogenase, and protease. The experiment showed that *Daucus carota* L. effectively accumulates cadmium in the roots, especially at high concentrations of contamination. The introduction of vermicompost into the soil helps reduce cadmium accumulation in the plant, which may be related to the improvement of soil structure and its ability to neutralize toxic substances. Furthermore, the addition of vermicompost helps maintain higher levels of soil enzyme activity, alleviating the toxic effects of cadmium on microorganisms and the soil ecosystem. The results of the study confirm that carrots (*Daucus carota* L.), as a phytoremediant, in combination with vermicompost can be used to clean the soil of pollutants (Cd) and restore its biological activity.