



Исследование способности обесцвечивать краситель кристаллический фиолетовый штаммами *Pseudomonas* sp.

^{1,2}О.В. Чубукова*, ^{1,2}Л.Р. Хакимова, ²Р.Г. Аюпова, ²Р.В. Николаев, ^{1,2}З.Р. Вершинина

¹Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Российская Федерация, 450054, Уфа, пр. Октября 71

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», кафедра «Школа молекулярных технологий», Российская Федерация, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

*E-mail: chubukova@bk.ru

Резюме

Сброс сточных вод, загрязненных промышленными красителями, в различные водоемы создает значительную угрозу состоянию экосистем и здоровью человека. Применение микроорганизмов, способных обесцвечивать синтетические красители, в настоящее время рассматривается недорогой, экологически чистой и эффективной альтернативой физико-химическим методам очистки окрашенных стоков. Бактерии рода *Pseudomonas* обладают чрезвычайно активным метаболизмом, который позволяет им выживать в загрязненных различными экоплютантами водоемах и почвах. Целью настоящего исследования является оценка способности бактериальных штаммов *Pseudomonas* sp. обесцвечивать трифенилметановый краситель кристаллический фиолетовый. Из загрязненных химическими отходами почв были выделены три бактериальных штамма *Pseudomonas* sp. 4 НМ, 10 НМ и 24 НМ, которые по анализу нуклеотидной последовательности гена 16S рРНК отнесены к роду *Pseudomonas*. В работе была исследована способность данных бактерий расти и деколоризировать кристаллический фиолетовый в концентрации 10-50 мг/л в твердой и жидкой питательной среде. Показано, что все три штамма могли расти и частично адсорбировать краситель на твердой питательной среде во всем исследуемом диапазоне концентраций, в том числе в присутствии 3 мМ никеля. В жидкой питательной среде в присутствии 10 мг/л все штаммы продемонстрировали небольшой уровень деколоризации: 36, 44 и 34%, для штаммов *Pseudomonas* sp. 4НМ, 10 НМ и 24 НМ, соответственно. При более высоких концентрациях красителя наблюдалось ингибирование роста бактериальных культур.

Ключевые слова: *Pseudomonas* sp., синтетические красители, кристаллический фиолетовый, биоремедиация, обесцвечивание.

Цитирование: Чубукова О.В., Хакимова Л.Р., Аюпова Р.Г., Николаев Р.В., Вершинина З.Р. Исследование способности обесцвечивать краситель кристаллический фиолетовый штаммами *Pseudomonas* sp. *Biomics*. 2025. 17(3). 223-228. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2025-18

© **Авторы,** Чубукова О.В., Хакимова Л.Р., Аюпова Р.Г., Николаев Р.В., Вершинина З.Р., 2025

Investigation of the ability to discolor crystal violet dye by strains of *Pseudomonas* sp.

^{1,2}O.V. Chubukova*, ^{1,2}L.R. Khakimova, ²R.G. Ayupova, ²R.V. Nikolaev, ^{1,2}Z.R. Vershinina

¹Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

²Ufa State Petroleum Technological University, Department “School of Molecular Technologies”, Russian Federation, Ufa, 450062, 1 Kosmonavtov str.

*E-mail: chubukova@bk.ru

Resume

The discharge of wastewater contaminated with industrial dyes into various reservoirs poses a significant threat to ecosystems and human health. The use of microorganisms capable of discoloring synthetic dyes is

currently being considered an inexpensive, environmentally friendly and effective alternative to physico-chemical methods for cleaning colored wastewater. Bacteria of the genus *Pseudomonas* have an extremely active metabolism, which allows them to survive in reservoirs and soils polluted with various environmental pollutants. The purpose of this study is to evaluate the ability of bacterial strains of *Pseudomonas* sp. discolor triphenylmethane dye crystal violet. Three bacterial strains of *Pseudomonas* sp. 4 HM, 10 HM and 24 HM were isolated from soils contaminated with chemical waste, which were assigned to the genus *Pseudomonas* by analyzing the nucleotide sequence of the 16S rRNA gene. The ability of these bacteria to grow and decolorize crystalline violet at a concentration of 10-50 mg/l in solid and liquid nutrient media was investigated. It was shown that all three strains could grow and partially adsorb the dye on a solid nutrient medium in the entire studied concentration range, including in the presence of 3 mM nickel. In a liquid nutrient medium in the presence of 10 mg/l, all strains demonstrated a low level of decolorization: 36, 44, and 34%, for strains of *Pseudomonas* sp. 4HM, 10 HM, and 24 HM, respectively. At higher concentrations of the dye, inhibition of bacterial culture growth was observed.

Keywords: *Pseudomonas* sp., synthetic dyes, crystalline violet, bioremediation, discoloration.

Citation: Chubukova O.V., Khakimova L.R., Ayupova R.G., Nikolaev R.V., Vershinina Z.R. Investigation of the ability to discolor crystal violet dye by strains of *Pseudomonas* sp. *Biomics*. 2025. 17(3). 223-228. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2025-18

© **The Authors**, Chubukova O.V., Khakimova L.R., Ayupova R.G., Nikolaev R.V., Vershinina Z.R., 2025

Введение

Загрязнение среды промышленными стоками, содержащими синтетические красители, является серьезной экологической проблемой. Большое количество красителей используется в текстильной отрасли, однако, часть из них в результате неполного расходования в процессе производства попадает со стоками в водоемы и почву, что приводит к их окрашиванию [Jamee, Siddique, 2019; Moyo et al., 2022]. Красители снижают проникновение солнечного света в воду, тем самым ограничивают фотосинтетическую активность, уменьшают содержание кислорода в воде, также они могут оказывать негативное воздействие на живые организмы, обитающие в водной и почвенной экосистемах [Sudarshan et al., 2023; Karim et al., 2018]. Кристаллический фиолетовый (КФ) является широко используемым синтетическим красителем трифенилметанового ряда. Он применяется в медицине и ветеринарии в качестве гистологического красителя, как бактериостатический и дезинфицирующий агент в медицинских растворах, используется для окрашивания тканей в текстильной промышленности [Mani, Bharagava 2016]. Несмотря на обширный спектр применения кристаллического фиолетового, известно, что он обладает устойчивостью к различному воздействию и поэтому, при попадании в сточные воды, надолго сохраняется в окружающей среде [Kwak et al., 2024]. Также сообщалось, что КФ опасен для клеток млекопитающих, обладает канцерогенной, мутагенной и митогенной токсичностью [Tian et al., 2024]. Для удаления КФ из загрязненной воды и почвы традиционно применяют различные физико-химические методы, такие как адсорбция, коагуляция, химическая и фотодеградация, однако, они могут оказаться неэффективными и дорогостоящими, поэтому требуется поиск альтернативных экологически безопасных, недорогих и результативных способов разрушения КФ. Одним из

таких перспективных подходов является очистка сточных вод, загрязненных красителями, с помощью бактериальных штаммов, способных к биосорбции или биодеградации загрязнителей, лигнин-разрушающими ферментами, такие как, лакказа, лигнин-пероксидаза, марганец-пероксидаза, краситель-обесцвечивающие пероксидазы [Ali, Akthar, 2014; de Gonzalo et al., 2016; Lin et al., 2019]. Сообщалось, что штамм *Enterobacter* sp. CV_S1 выделенный из промышленных сточных вод, полностью обесцвечивал КФ в концентрации 150 мг/л в среде в течение 3 суток [Roy et al., 2018]. В другом исследовании штамм *Bacillus* sp., выделенный из очистных сооружений текстильной промышленности был способен к биодеградации КФ в концентрации 500 ppm за 2,5 часа [Ayed et al., 2009].

Целью данной работы было исследование у бактерий рода *Pseudomonas*, выделенных из загрязненных почв, способности к обесцвечиванию КФ для потенциального применения в биодеградации красителя.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали штаммы грамотрицательных бактерий из коллекции «Симбионт» ИБГ УФИЦ РАН *Pseudomonas* sp. 4, 10, 24 НМ, выделенные из загрязненных химическими реагентами почв.

Для выделения бактериальных изолятов образец почвы ресуспендировали в стерильной среде LB (масс. % в водном растворе: бактотриптон – 1, дрожжевой экстракт – 0.5, NaCl – 0.5, pH 7), рассеивали на агаризованной среде, содержащей ионы никеля в концентрации 5 мМ и выращивали при 28°C в течение 5 суток. Выросшие бактериальные изоляты рассеивали до единичных колоний.

Генетическое разнообразие собранных изолятов исследовали с помощью RAPD анализа (Random Amplified Polymorphic DNA) с использованием следующих “случайных” праймеров:

1) LMBD 5'-GGGCGCTG-3'; 2) AFK5'-ACGGTGGACG-3' (Чубукова и др., 2022).

Для амплификации гена 16S рРНК были использованы универсальные праймеры fD1 5'-ccgggacccaagcttaaggagtgatccagcc-3' и rD1 5'-ccgaattcgtcgacaacaagagtttgatcctggctcag-3', фланкирующие фрагмент гена размером около 1500 пн [Чубукова и др. (Chubukova et al.), 2022].

Определение нуклеотидных последовательностей проводили на автоматическом секвенаторе Applied Biosystems 3500 фирмы "Applied Biosystems, Inc." (США) с использованием наборов "Big Dye Terminator v. 3.1".

Для получения ночной культуры бактериальные штаммы выращивали на жидкой среде LB при 28 °C на шейкере (150 об/мин) в течение 2 суток до концентрации 10^8 КОЕ/мл.

В качестве красителя использовали 1% раствор генциана фиолетового ("Агат-Мед", Россия). Для исследования способности штаммов псевдомонад к обесцвечиванию КФ на агаризованной среде LB, исходный раствор красителя добавляли в среду, содержащую агар (масс. % в водном растворе - 1,5 г), после автоклавирования до концентрации 10, 25 и 50 мг/мл. Для оценки деколоризирующей способности бактерий в присутствии Ni в агар после автоклавирования добавляли раствор NiCl₂ до концентрации 3 мМ. Затем жидкую культуру бактерий в виде капли наносили на поверхность агара и инкубировали при 28°C. Способность бактерий к обесцвечиванию КФ определяли по наличию зоны просветления вокруг колоний через 3 суток.

Для анализа обесцвечивания КФ в жидкой среде ночную культуру бактерий разбавляли стерильной LB средой до концентрации 10^6 КОЕ/мл, вносили краситель до концентрации 10, 25 и 50 мг/мл, и наращивали бактерии на качалке при 150 об/мин в течение 3 суток. В начале эксперимента и через каждые 24 часа в течении 3 суток отбирали по 1 мл бактериальной культуры, центрифугировали 5 мин при 10 тыс. об/мин и измеряли оптическую плотность надосадочной жидкости на планшетном спектрофотометре SuperMax-3100 (Shanghai Flash Spectrum Biological Technology Co., Ltd, Китай) при длине волны 590 нм. Степень деколоризации красителя (%) рассчитывали по формуле: % деколоризации = $100 \times \frac{A_{нач} - A_{кон}}{A_{нач}}$, где $A_{нач}$ – начальное поглощение, $A_{кон}$ – конечное поглощение красителя после культивирования [Wu et al., 2009]. В качестве контроля использовали среду с соответствующей концентрацией красителя без бактерий.

Эксперименты проводили в 4-кратной повторности и каждый независимо воспроизводили не менее 3 раз.

Результаты обрабатывали с использованием пакета Microsoft Office Excel 2010, доверительные интервалы определяли для 95% уровня значимости.

Результаты и их обсуждение

Из загрязненных химическими отходами почв были выделены бактериальные изоляты, способные расти на среде в присутствии тяжелых металлов. Бактериальные культуры, полученные из единичных клеток, предварительно проверяли на гетерогенность с помощью RAPD-анализа с использованием "произвольных" олигонуклеотидных праймеров AFK и LMBD [Chubukova et al. 2024]. Для дальнейших исследований были взяты штаммы, которые давали различные генетические профили. Принадлежность штаммов, получивших название 4 НМ. 10 НМ и 24 НМ к роду *Pseudomonas* была определена посредством секвенирования у них фрагмента консервативного гена 16S рРНК и дальнейшего сравнительного анализа с другими аналогичными генами из базы данных GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>).

Бактерии рода *Pseudomonas* обладают значительным метаболическим потенциалом, который позволяет им заселять различные экологические ниши и выживать в неблагоприятных для других организмов средах, в том числе в условиях загрязнения промышленными красителями. Ранее был идентифицирован штамм *Pseudomonas putida*, способный к разложению в жидкой среде до 80% 60 мкМ кристаллического фиолетового, использующий его в качестве единственного источника углерода [Chen et al., 2007]. Kwak с соавторами из очистных сооружений выделили штаммы *Pseudomonas crudilactis* и *Pseudomonas crudilactis*, способные к биодеградации КФ при различных условиях окружающей среды [Kwak et al., 2024]. Manal с соавторами обнаружили штамм *Pseudomonas aeruginosa*, обесцвечивающий в биореакторе КФ со скоростью 1,25 мг/л/ч при концентрации 15 мг/л [Manal et al., 2004]. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на поиск штаммов псевдомонад, способных к эффективному обесцвечиванию КФ для очистки загрязненных водоемов и почв.

Далее была определена способность бактерий расти в присутствии различных концентраций КФ в агаризованной среде LB, при оптимальной для данных бактерий температуре 28°C. По данным исследований, промышленные стоки часто содержат высокие концентрации тяжелых металлов [Maqbool et al., 2016]. Поэтому, была изучена деколоризирующая активность штаммов при наличии в агаризованной среде как КФ, так и 3 мМ никеля. Известно, что бактерии, устойчивые к красителям, могут

абсорбировать последний в клетках, что приводит к изменению их окраски или биodeградировать краситель, в результате чего он обесцвечивается [Wu et al., 2009]. Исследование показало, что на твердой среде LB с красителем в присутствии 3 мМ никеля все три исследуемых штамма росли в диапазоне от 10 до 50 мг/л КФ, при этом происходило окрашивание клеточной биомассой, однако зона обесцвечивания красителя вокруг колоний была незначительной или отсутствовала [рис. 1]. Наиболее интенсивный рост и абсорбция красителя во всех концентрациях через 3 суток были отмечены у штамма *Pseudomonas* sp. 10 НМ. Также, наблюдалось частичное обесцвечивание красителя в колониях данного штамма при концентрации 10 и 25 мг/л.

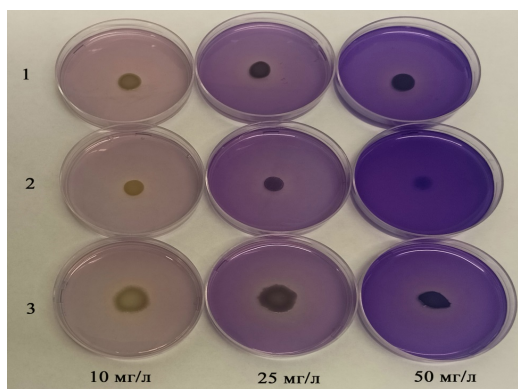


Рис.1. Рост штаммов *Pseudomonas* sp. на агаризованной среде LB через 3 суток в присутствии 10, 25, 50 мг/л КФ и 3 мМ Ni. 1 - *Pseudomonas* sp. 4 НМ, 2 - *Pseudomonas* sp. 24 НМ, 3 - *Pseudomonas* sp. 10 НМ.

Fig.1. Growth of *Pseudomonas* sp. strains on agarized LB medium after 3 days in the presence of 10, 25, 50 mg/l Crystal violet and 3 mM Ni. 1 - *Pseudomonas* sp. 4 НМ, 2 - *Pseudomonas* sp. 24 НМ, 3 - *Pseudomonas* sp. 10 НМ.

Известно, что аэрация способствует усилению процесса обесцвечивания красителя [Zabłocka-Godlewska et al., 2014]. Поэтому также было исследована способность к деколоризации КФ в диапазоне 10-50 мг/л в жидкой среде LB при интенсивном встряхивании.

В жидкой среде LB способность к частичной деколоризации красителя КФ через 3 суток была выявлена у всех штаммов только в присутствии 10 мг/л КФ. Данная концентрация вызывала замедление роста бактериальных культур, при этом степень деколоризации составила 36, 44 и 34%, для штаммов

Pseudomonas sp. 4НМ, 10 НМ и 24 НМ, соответственно (рис.2).

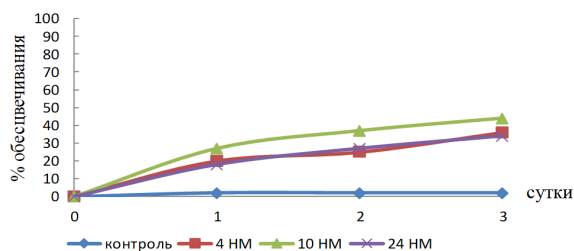


Рис.2. Обесцвечивание красителя КФ в концентрации 10 мг/л штаммами *Pseudomonas* sp. 4 НМ, 10 НМ и 24 НМ в жидкой питательной среде LB в течение 3 суток.

2. Discoloration of Crystal violet dye at a concentration of 10 mg/l by strains of *Pseudomonas* sp. 4 НМ, 10 НМ and 24 НМ in liquid nutrient medium LB for 3 days.

В контрольной среде, содержащей только краситель в концентрации 10 мг/л, обесцвечивания не происходило. Наиболее эффективно обесцвечивание в жидкой среде наблюдалось у штамма *Pseudomonas* sp. 10 НМ. Также, как и в случае роста на твердой среде деколоризация красителя происходила в результате сорбции последнего в клетках, о чем свидетельствовал окрашенный осадок после центрифугирования бактериальной культуры (неопубликованные данные). При концентрации красителя 25-50 мг/л в жидкой среде через 3 суток не было зафиксировано роста культуры, что вероятно связано с тем, что в динамических условиях наращивания бактерии не смогли преодолеть токсичное действие КФ.

Таким образом, исследованные штаммы псевдомонад обладают слабой способностью к обесцвечиванию красителя КФ в твердой и жидкой питательной среде LB.

Заключение

В нашем исследовании показано, что новые штаммы псевдомонад *Pseudomonas* sp. 4 НМ, 10 НМ и 24 НМ, выделенные из загрязненных почв обладают слабой способностью к обесцвечиванию красителя КФ в твердой питательной среде LB в присутствии 3мМ Ni в диапазоне 10-50 мг/л и в жидкой среде без ТМ в присутствии 10 мг/л красителя. В дальнейшем мы планируем провести поиск штаммов псевдомонад, способных к эффективному росту и обесцвечиванию синтетических красителей как в условиях бедных, так и богатых питательной сред.

Работа была выполнена с привлечением приборного парка ЦКП «Агидель» и УНУ «КОДИНК».

Литература

1. Чубукова О.В., Хакимова Л.Р., Акимова Е.С. и др. Филогения и свойства новых штаммов *Pseudomonas* sp. из ризосферы бобовых растений Южного Урала. *Микробиология*. 2022. 91(5). 537-546. DOI: 10.31857/S0026365622100196
2. Ali SAM, Akthar N. A study on bacterial decolorization of crystal violet dye by *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Proteus vulgaris*. *Res Article Biol Sci*. 2014. 4, 89-96.
3. Ayed L, Cheriaa J, Laadhari N et al. Biodegradation of crystal violet by an isolated Bacillus sp. *Annals of Microbiology*. 2009. 59(2). 267-272. doi: 10.1007/BF03178327
4. Chen CC, Liao HJ, Cheng CY et al. Biodegradation of crystal violet by *Pseudomonas putida*. *Biotechnol Lett*. 2007. 29(3). 391-396. doi: 10.1007/s10529-006-9265-6
5. Chubukova OV, Khakimova LR, Matniyazov RT et al. Heavy Metal-Resistant PGPR Strains of *Pseudomonas* sp. Stimulating the Growth of Alfalfa under Cadmium Stress. *Biology Bulletin*. 2024. 51(5). 1291-1300. DOI: 10.1134/S1062359024607444
6. de Gonzalo G, Colpa DI, Habib MH et al. Bacterial enzymes involved in lignin degradation. *J Biotechnol*. 2016. 236. 110-119. doi: 10.1016/j.jbiotec.2016.08.011
7. Jamee R, Siddique R. Biodegradation of synthetic dyes of textile effluent by microorganisms: an environmentally and economically sustainable approach. *European Journal of Microbiology and Immunology*. 2019. 9(4), 114-118. doi: 10.1556/1886.2019.00018
8. Kwak SJ, Park J, Sim, Y et al. Biodegradation of crystal violet by newly isolated bacteria. *PeerJ*. 2024. 12, e17442. Lin L, Wang X, Cao L et al. Lignin catabolic pathways reveal unique characteristics of dye-decolorizing peroxidases in *Pseudomonas putida*. *Environ Microbiol*. 2019. 21(5). 1847-1863. doi: 10.1111/1462-2920.14593
9. Manal MA, El-Naggar S, El-Aasar A et al. Bioremediation of crystal violet using air bubble bioreactor packed with *Pseudomonas aeruginosa*. *Water Res*. 2005. 39(20). 5045-5054. doi: 10.1016/j.watres.2004.08.001
10. Mani S, Bharagava RN. Exposure to Crystal Violet, Its Toxic, Genotoxic and Carcinogenic Effects on Environment and Its Degradation and Detoxification for Environmental Safety. *Rev Environ Contam Toxicol*. 2016. 237. 71-104. doi: 10.1007/978-3-319-23573-8_4
11. Maqbool Z, Hussain S, Ahmad T et al. Use of RSM modeling for optimizing decolorization of simulated textile wastewater by *Pseudomonas aeruginosa* strain ZM130 capable of simultaneous removal of reactive dyes and hexavalent chromium. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2016. 23(11). 11224-11239. doi: 10.1007/s11356-016-6275-3
12. Moyo S, Makhanya BP, Zwane PE. Use of bacterial isolates in the treatment of textile dye wastewater: A review. *Heliyon*. 2022. V. 8(6). e09632. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09632
13. Roy DC, Biswas SK, Saha AK et al. Biodegradation of Crystal Violet dye by bacteria isolated from textile industry effluents. *PeerJ*. 2018. 6. e5015. doi: 10.7717/peerj.5015
14. Sudarshan, S., Harikrishnan, S., RathiBhuvaneshwari G et al. Impact of textile dyes on human health and bioremediation of textile industry effluent using microorganisms: current status and future prospects. *Journal of Applied Microbiology*. 2023. 134(2), lxac064. doi: 10.1093/jambio/lxac064
15. Tian Y, Wu K, Lin S et al. Biodegradation and decolorization of Crystal Violet dye by cocultivation with fungi and bacteria. *ACS Omega*. 2024. 9(7):7668–7678. doi: 10.1021/acsomega.3c06978
16. Wu J, Jung BG, Kim KS et al. Isolation and characterization of *Pseudomonas otitidis* WL-13 and its capacity to decolorize triphenylmethane dyes. *J Environ Sci (China)*. 2009. 21(7). 960-964. doi: 10.1016/s1001-0742(08)62368-2
17. Zabłocka-Godlewska E, Przysaś W, Grabińska-Sota E. Decolourisation of Different Dyes by two *Pseudomonas* Strains Under Various Growth Conditions. *Water Air Soil Pollut*. 2014. 225(2). 1846. doi: 10.1007/s11270-013-1846-0

References

1. Ali SAM, Akthar N. A study on bacterial decolorization of crystal violet dye by *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Proteus vulgaris*. *Res Article Biol Sci*. 2014. 4, 89-96.
2. Ayed L, Cheriaa J, Laadhari N et al. Biodegradation of crystal violet by an isolated Bacillus sp. *Annals of Microbiology*. 2009. 59(2). 267-272. doi: 10.1007/BF03178327
3. Chen CC, Liao HJ, Cheng CY et al. Biodegradation of crystal violet by *Pseudomonas putida*. *Biotechnol Lett*. 2007. 29(3). 391-396. doi: 10.1007/s10529-006-9265-6
4. Chubukova, O.V., Khakimova, L.R., Akimova, E.S. et al. Phylogeny and Properties of New *Pseudomonas* spp. from the Rhizosphere of Southern Ural Leguminous Plants. *Microbiology*. 2022. 91, 489–496. doi.org/10.1134/S0026261722800244

5. de Gonzalo G, Colpa DI, Habib MH et al. Bacterial enzymes involved in lignin degradation. *J Biotechnol.* 2016. 236. 110-119. doi: 10.1016/j.jbiotec.2016.08.011
6. Jamee R, Siddique R. Biodegradation of synthetic dyes of textile effluent by microorganisms: an environmentally and economically sustainable approach. *European Journal of Microbiology and Immunology.* 2019. 9(4), 114-118. doi: 10.1556/1886.2019.00018
7. Kwak SJ, Park J, Sim, Y et al. Biodegradation of crystal violet by newly isolated bacteria. *PeerJ.* 2024. 12, e17442. Lin L, Wang X, Cao L et al. Lignin catabolic pathways reveal unique characteristics of dye-decolorizing peroxidases in *Pseudomonas putida*. *Environ Microbiol.* 2019. 21(5). 1847-1863. doi: 10.1111/1462-2920.14593
8. Manal MA, El-Naggar S, El-Aasar A et al. Bioremediation of crystal violet using air bubble bioreactor packed with *Pseudomonas aeruginosa*. *Water Res.* 2005. 39(20). 5045-5054. doi: 10.1016/j.watres.2004.08.001
9. Mani S, Bharagava RN. Exposure to Crystal Violet, Its Toxic, Genotoxic and Carcinogenic Effects on Environment and Its Degradation and Detoxification for Environmental Safety. *Rev Environ Contam Toxicol.* 2016. 237. 71-104. doi: 10.1007/978-3-319-23573-8_4
10. Maqbool Z, Hussain S, Ahmad T et al. Use of RSM modeling for optimizing decolorization of simulated textile wastewater by *Pseudomonas aeruginosa* strain ZM130 capable of simultaneous removal of reactive dyes and hexavalent chromium. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2016. 23(11). 11224-11239. doi: 10.1007/s11356-016-6275-3
11. Moyo S, Makhanya BP, Zwane PE. Use of bacterial isolates in the treatment of textile dye wastewater: A review. *Heliyon.* 2022. V. 8(6). e09632. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09632
12. Roy DC, Biswas SK, Saha AK et al. Biodegradation of Crystal Violet dye by bacteria isolated from textile industry effluents. *PeerJ.* 2018. 6. e5015. doi: 10.7717/peerj.5015
13. Sudarshan, S., Harikrishnan, S., RathiBhuvaneswari G et al. Impact of textile dyes on human health and bioremediation of textile industry effluent using microorganisms: current status and future prospects. *Journal of Applied Microbiology.* 2023. 134(2), lxac064. doi: 10.1093/jambio/lxac064
14. Tian Y, Wu K, Lin S et al. Biodegradation and decolorization of Crystal Violet dye by cocultivation with fungi and bacteria. *ACS Omega.* 2024. 9(7):7668–7678. doi: 10.1021/acsomega.3c06978
15. DOI 10.1021/acsomega.3c06978
16. Wu J, Jung BG, Kim KS et al. Isolation and characterization of *Pseudomonas otitidis* WL-13 and its capacity to decolorize triphenylmethane dyes. *J Environ Sci (China).* 2009. 21(7). 960-964. doi: 10.1016/s1001-0742(08)62368-2
17. Zabłocka-Godlewska E, Przystaś W, Grabińska-Sota E. Decolourisation of Different Dyes by two *Pseudomonas* Strains Under Various Growth Conditions. *Water Air Soil Pollut.* 2014. 225(2). 1846. doi: 10.1007/s11270-013-1846-0