



## БИОЛОГИЯ

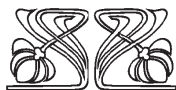
УДК 577.151

### СКРИНИНГ БАКТЕРИЙ РОДА *AZOSPIRILLUM* ПО СПОСОБНОСТИ К ПРОДУКЦИИ ВНЕКЛЕТОЧНОЙ ЛИГНИН-ПЕРОКСИДАЗЫ И ДЕГРАДАЦИИ МОДЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛИГНИНА И АЗОКРАСИТЕЛЕЙ

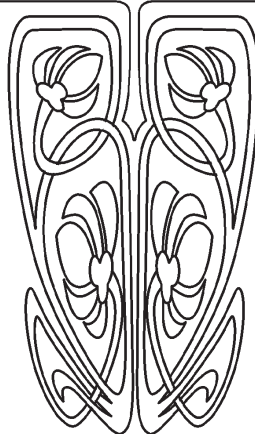
С. В. Петров<sup>1</sup>, М. А. Купряшина<sup>2</sup>, Е. Г. Пономарёва<sup>2</sup>,  
С. А. Воробьёва<sup>1</sup>, Е. В. Глинская<sup>1</sup>, В. Е. Никитина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского  
E-mail: petrov.s.v.999@mail.ru

<sup>2</sup>Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов  
E-mail: kupryashina\_m@mail.ru



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ



Лигнин-пероксидаза является одним из главных ферментов грибов-деструкторов древесины, который способен к неспецифическому окислению многих ароматических и полициклических соединений. К началу наших исследований сведения о способности к продукции данного фермента бактериями практически отсутствовали. Относительно недавно нами была обнаружена активность лигнин-пероксидазы в смывах с поверхности бактериальных клеток и во внутриклеточных экстрактах азоспирилл. В ходе данного исследования был проведен скрининг 6 штаммов бактерий рода *Azospirillum* по способности к продукции внеклеточной лигнин-пероксидазы, а также потенциал данных микроорганизмов к деградации модельных соединений лигнина и азокрасителей. Активность фермента в культуральной жидкости определяли по окислению вератрилового спирта до вератрилового альдегида. Лигнин-деградирующий потенциал бактерий определяли по методу Ahmad с использованием препаратов нитрированного лигнина. При исследовании деградирующей способности азоспирилл в отношении синтетических красителей в качестве модельного азокрасителя был выбран метиловый оранжевый. В ходе исследования обнаружена продукция внеклеточной лигнин-пероксидазы у всех взятых в эксперимент штаммов рода *Azospirillum*. В результате скрининга выявлена способность азоспирилл к деградации модельных соединений лигнина. Впервые обнаружена способность бактерий рода *Azospirillum* к разрушению азокрасителей. В большинстве случаев отмечена положительная корреляция между уровнем активности внеклеточной лигнин-пероксидазы и способностью к деградации лигниноподобных соединений, а также сложных ароматических красителей.

**Ключевые слова:** лигнин-пероксидаза, *Azospirillum*, деградация, модельные препараты лигнина, метиловый оранжевый, азокрасители.

#### Screening of Genus *Azospirillum* for their Ability to Produce Extracellular Lignin-Peroxidase and the Degradation of Model Lignin Compounds and Azo Dyes

S. V. Petrov, M. A. Kupryashina, E. G. Ponomareva,  
S. A. Vorobeva, E. V. Glinskaya, V. E. Nikitina

Lignin peroxidase is one of the main enzymes of fungi decomposers of wood, that is capable to many non-specific oxidation of aromatic and polycyclic compounds. By the beginning of our research there were virtually no data of the bacteria's ability to produce the lignin peroxidase. Rather recently lignin peroxidase activity was detected by us in the washouts from the surface of the bacterial cells and in intracellular extracts of bacteria from genus *Azospirillum*. In this study, 6 strains of bacteria of the genus *Azospirillum* was screened by their ability to produce extracel-



lular lignin peroxidase, and by the potential of these microorganisms to the degradation of lignin model compounds and azo dyes. The enzyme activity in the culture fluid was determined by oxidation of veratryl alcohol to veratric aldehyde. Lignin-degrading capacity of the bacteria was determined by the method of Ahmad, using preparations of nitrided lignin. In the study of the bacteria of the genus *Azospirillum* by their ability to degrading the synthetic dyes, the methyl orange was selected as a model of the azo dye. The study found production of extracellular lignin peroxidase from all strains of bacteria of the genus *Azospirillum* taken in the experiment. As a result of screening revealed *Azospirillum* ability to degradation of lignin model compounds. For the first time discovered the ability of bacteria of the genus *Azospirillum* to the destruction of azo dyes. In most cases showed positive correlation between the level of activity of extracellular lignin peroxidase and ability to degradation of lignin model compounds and aromatic complex dyes.

**Key words:** lignin peroxidase, *Azospirillum*, degradation, model lignin compounds, methyl orange, azo dyes.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-2-170-176

Лигнин-пероксидаза (ЕС 1.11.1.14) – один из главных внеклеточных неспецифических окислительных ферментов многих грибов белой гнили. Уникальные кинетические характеристики данной пероксидазы позволяют ей участвовать в процессах деградации многих полициклических соединений, в том числе и лигнина. Показано, что благодаря высокому редокс-потенциалу лигнин-пероксидаза способна к обесцвечиванию ряда азокрасителей [1].

Сведения о способности бактерий к продукции лигнин-пероксидаз крайне фрагментарны. К началу наших исследований активность данного фермента детектировалась у *Streptomyces viridosporus* T7A [2] и *Pseudomonas sp.* SUK1 [3]. Никитиной с соавторами [4] была обнаружена лигнин-пероксидазная активность в смывах с бактериальной поверхности и во внутриклеточных экстрактах у ряда штаммов бактерий рода *Azospirillum* – почвенных азотфиксирующих микроорганизмов, способных к ассоциативному и эндофитному симбиозу. По данным литературы, некоторые микроорганизмы, способные к продукции внеклеточной лигнин-пероксидазы, участвуют в разрушении лигнина и лигниноподобных соединений, а также сложных ароматических красителей [5].

В связи с вышеизложенным в ходе данного исследования был проведен скрининг бактерий рода *Azospirillum* по способности к продукции внеклеточной лигнин-пероксидазы, а также к деградации модельных соединений лигнина и азокрасителей.

#### Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны следующие штаммы: *A. brasilense*

Sp245, Sp107, Sp7, SR 80, *A. lipoferum* Sp59b и *A. tiophilum* Bv-S из коллекции микроорганизмов ИБФРМ РАН (Саратов).

Бактерии культивировали на жидкой малатно-солевой среде следующего состава (г/л):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,1;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 0,4;  $\text{NaCl}$  – 0,1;  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,002;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,2;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,02; яблочная кислота – 5,0;  $\text{NaOH}$  – 1,7;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – 1,0;  $\text{CaCl}_2$  – 0,02; pH 6,8. Посевным материалом служила 12-часовая культура, выращенная на среде того же состава.

Активность внеклеточной лигнин-пероксидазы определяли в культуральной жидкости по скорости окисления вератрилового спирта до вератрилового альдегида при длине волны 310 нм [6]. Реакцию начинали добавлением 100 мкл 0,4 мМ  $\text{H}_2\text{O}_2$ . За единицу удельной активности фермента принимали изменение поглощения на единицу за 1 мин на 1 мг белка. Концентрацию белка определяли по методу Бредфорд [7].

Лигнин-деградирующий потенциал бактерий определяли с использованием метода, предложенного Ahmad [8]. В эксперимент были взяты два модельных препарата лигнина Классона, полученные из нативных (не подвергнутых метанолизу) и метанолизных дубовых опилок, предоставленных сотрудниками лаборатории биохимии ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА». Спектрофотометрическое определение лигниндеградирующей способности проводили в полистироловых 96-луночных планшетах на иммуноферментном анализаторе Multiskan Ascent в Центре коллективного пользования научным оборудованием в области физико-химической биологии и нанобиотехнологии «Симбиоз» ИБФРМ РАН. Обработка результатов измерений осуществлялась с помощью программы Ascent Software for Multiskan Ascent («Thermo Electron», Финляндия).

В качестве модельного азокрасителя при исследовании деградирующей способности азоспирилл в отношении синтетических красителей был выбран метиловый оранжевый [9]. Степень разрушения красителя выражали в процентах и рассчитывали по формуле

$$\% \text{ обесцвечивания} = 100 \times \frac{A_{\text{нач}} - A_{\text{кон}}}{A_{\text{нач}}},$$

где  $A_{\text{нач}}$  – начальное поглощение, а  $A_{\text{кон}}$  – конечное поглощение красителя после культивирования [10]. Также нами было оценено влияние на процесс деградации красителя таких параметров, как концентрация вносимого вещества, время и температура культивирования.



Все эксперименты проводились минимум в трех повторностях в трех независимых экспериментах. При оценке полученных результатов пользовались методом расчета стандартного отклонения среднего арифметического с использованием программы Microsoft Office Excel 2010; данные имеют соответствующие доверительные интервалы при уровне доверительной вероятности 0,95.

### Результаты и их обсуждение

Первым этапом нашей работы явилось обнаружение активности лигнин-пероксидазы в культуральной жидкости исследуемых штаммов после 24 часов выращивания. Для детекции

ферментативной активности нами был выбран метод, основанный на образовании вератрилового альдегида из вератрилового спирта. По данным литературы, главным специфическим субстратом лигнин-пероксидазы является именно вератриловый спирт [11].

Как видно из данных, представленных на рис. 1, продукция внеклеточной лигнин-пероксидазы была установлена для всех исследуемых штаммов. При этом наибольшими показателями активности фермента обладал штамм *A. brasilense* Sp245. Минимальной лигнин-пероксидазной активностью в 56 ед./мг белка обладал штамм *A. brasilense* Sp107.

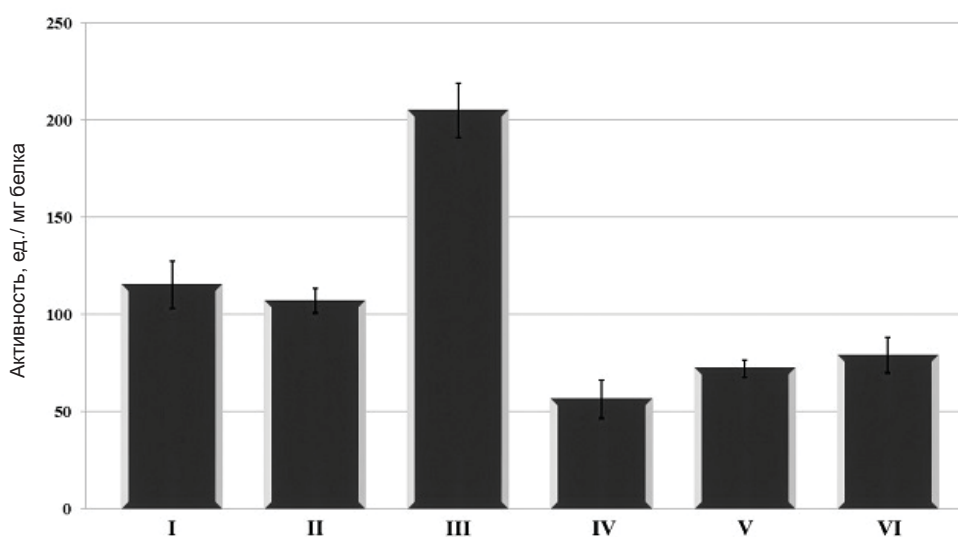


Рис. 1. Обнаружение внеклеточной лигнин-пероксидазной активности азоспирилл: I – *A. brasilense* Sp7; II – *A. brasilense* SR80; III – *A. brasilense* Sp245; IV – *A. brasilense* Sp107; V – *A. lipoferum* Sp59b; VI – *A. tiophilum* Bv-S

Впервые вопрос наличия ферментов лигнин-деградирующего комплекса у бактерий рода *Azospirillum* рассматривался в статье 2010 г. Никитиной с соавторами [4]. В данной работе при исследовании штаммов *A. brasilense* Sp245, Sp7, Sp107 и *A. lipoferum* 59b на предмет наличия активности лигнин-пероксидазы внутри и на поверхности клетки удалось обнаружить присутствие фермента только у штамма *A. brasilense* Sp7. Стоит отметить, что значения лигнин-пероксидазной активности данного штамма были крайне малы, при этом в смывах с бактериальной поверхности активность и вовсе имела следовые значения. В ходе нашего исследования у штамма *A. brasilense* Sp7 внеклеточная активность лигнин-пероксидазы достигала значения 115 ед./мг белка. Таким образом, при использовании вератрилового спирта в качестве специфического субстрата лигнин-пероксидазы все взятые в эксперимент

штаммы бактерий рода *Azospirillum* демонстрируют высокую ферментативную активность.

Ранее нами было показано, что внесение в среду культивирования азоспирилл 2 мМ вератрилового спирта, представляющего собой вторичный метаболит растений, приводит к увеличению лигнин-пероксидазной активности [12]. Учитывая тот факт, что лигнин-пероксидаза является основным ферментом лигнин-деградирующего комплекса грибов белой гнили, а также факт индукции ферментативной активности азоспирилл вератриловым спиртом, образование которого связано с процессом разложения лигнина, нами был проведён скрининг с целью установления способности бактерии рода *Azospirillum* к разрушению лигниноподобных соединений.

Для выявления способности азоспирилл к деградации лигнина мы использовали метод Ahmad [8], в котором о процессе окисления препаратов



лигнина свидетельствует увеличение оптической плотности раствора в течение 20 мин, что связано с выделением фенольных продуктов, образующихся при деградации нитрированного лигнина. С помощью данного метода нами установлено, что все исследуемые штаммы способны разрушать модельные соединения лигнина как полученные из метанолизных, так и из нативных опилок (рис. 2). Как известно, метанолиз древесных

опилок приводит к изменениям в молекуле лигнина, выражающимся в повышении содержания метоксильных групп, а также моно-, ди- и олигомерных фенольных производных, что в результате сказывается на степени её конденсированности. По данным литературы, модифицированные подобным образом субстраты разрушаются грибами в значительно большей степени нежели лигнин, находящийся в нативной форме [13].

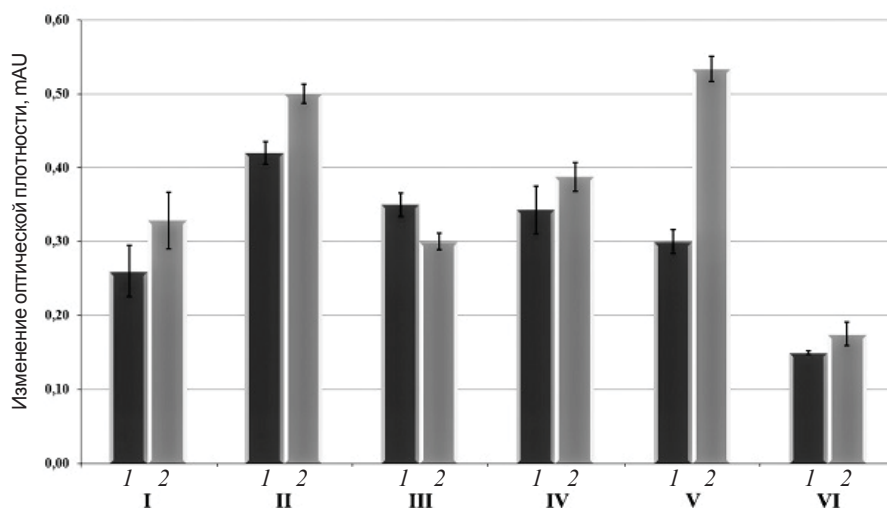


Рис. 2. Выявление способности азоспирилл к деградации модельных препаратов лигнина: I – *A. brasilense* Sp7; II – *A. brasilense* SR80; III – *A. brasilense* Sp245; IV – *A. brasilense* Sp107; V – *A. lipoferum* Sp59b; VI – *A. tophilum* Bv-S; 1 – лигнин Классона, 2 – лигнин Классона с повышенным содержанием метоксильных групп

Интересно отметить тот факт, что все штаммы, кроме *A. brasilense* Sp245, показали большой потенциал в деградации метанолизного препарата. При этом деградирующий потенциал *A. lipoferum* Sp59b к разложению модифицированного субстрата оказался почти в два раза выше по сравнению с нативным. *A. brasilense* Sp245, обладающий максимальной активностью лигнин-пероксидазы среди исследуемых штаммов, единственный из взятых в эксперимент оказался способен к более эффективной деградации препарата лигнина, полученного из немодифицированных опилок. Вероятнее всего, это связано со способностью *A. brasilense* Sp245 колонизировать корневые волоски и межклетники проводящей системы корня [14], образуя эндофитный симбиоз с травянистыми растениями. Интересным представляется тот факт, что лигнин травянистых растений характеризуется низкой степенью метаксильности [15].

Таким образом, в ходе исследования нами подтверждено предположение о том, что наличие

внеклеточной лигнин-пероксидазы опосредует способность бактерии рода *Azospirillum* к деградации модельных соединений лигнина.

Как отмечалось ранее, уникальные кинетические характеристики лигнин-пероксидазы позволяют участвовать данному ферменту в процессах деградации многих полициклических соединений, в том числе сложных ароматических красителей [5]. В связи с этим следующим этапом нашей работы явилось обнаружение способности азоспирилл к разрушению азокрасителей на примере метилового оранжевого. Был проведён ряд исследований, позволивших установить степень деградации красителя данными микроорганизмами в зависимости от концентрации вносимого вещества, времени и температуры культивирования.

Исходя из данных, представленных на рис. 3, все штаммы, взятые нами в эксперимент, оказались способны в той или иной степени деградировать краситель. Наименьшую способность к обесцвечиванию красителя показали штаммы *A. tophilum* Bv-S и *A. lipoferum* Sp59b, не су-

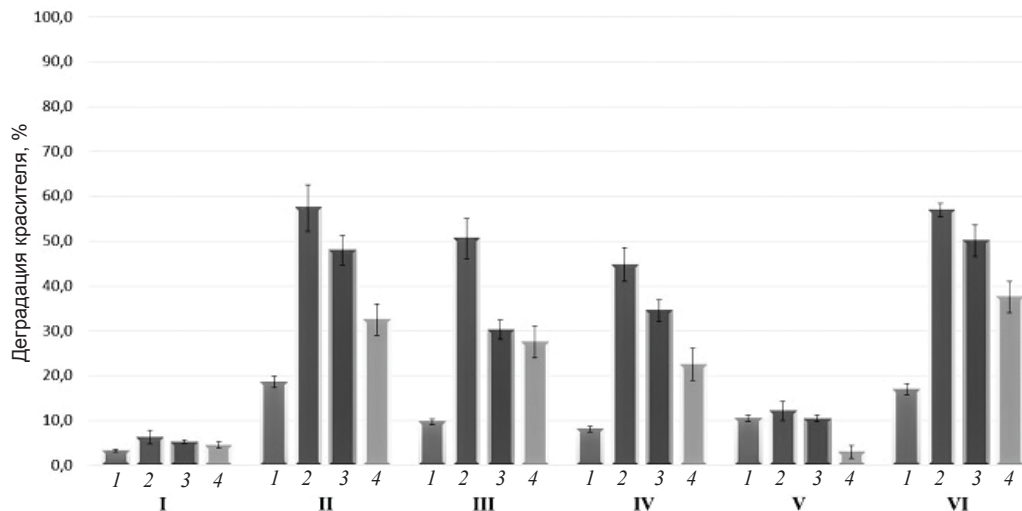


Рис. 3. Дegrаdация красителя при различных концентрациях, мМ: 1 – 1; 2 – 0,1; 3 – 0,05; 4 – 0,01; I – *A. tiophilum* Bv-S; II – *A. brasilense* Sp 107; III – *A. brasilense* Sp7; IV – *A. brasilense* Sp245; V – *A. lipoferum* Sp59b; VI – *A. brasilense* SR80

мев преодолеть порог деградации метилового оранжевого в 10,5 и 12,5% соответственно. Необходимо отметить, что активность лигнинпероксидазы данных штаммов была выше, чем у *A. brasilense* Sp107, потенциал которого в обесцвечивании красителя превышал 55%. При внесении метилового оранжевого в среду культивирования в конечной концентрации 1 мМ было установлено угнетение роста микроорганизмов, что, вероятно всего, обусловлено токсическим действием данного соединения, при этом нами отмечалось снижение степени деградации красителя. Присутствие азокрасителя в среде выращивания в концентрации от 0,1 до 0,01 мМ не оказывало ингибирующего

действия на рост всех исследуемых штаммов. Максимальные показатели разрушения метилового оранжевого детектировалось при концентрации 0,1 мМ. Однако в то же время степень обесцвечивания красителя уменьшалась при использовании в эксперименте концентрации метилового оранжевого ниже 0,05 мМ. Возможно, этот факт можно объяснить тем, что данная концентрация является менее токсичной для бактерии и не вызывает активации механизмов резистентности.

Для всех взятых в эксперимент штаммов было характерно увеличение степени обесцвечивания внесенного красителя с течением времени (рис. 4). Однако штаммы *A. tiophilum* Bv-S и

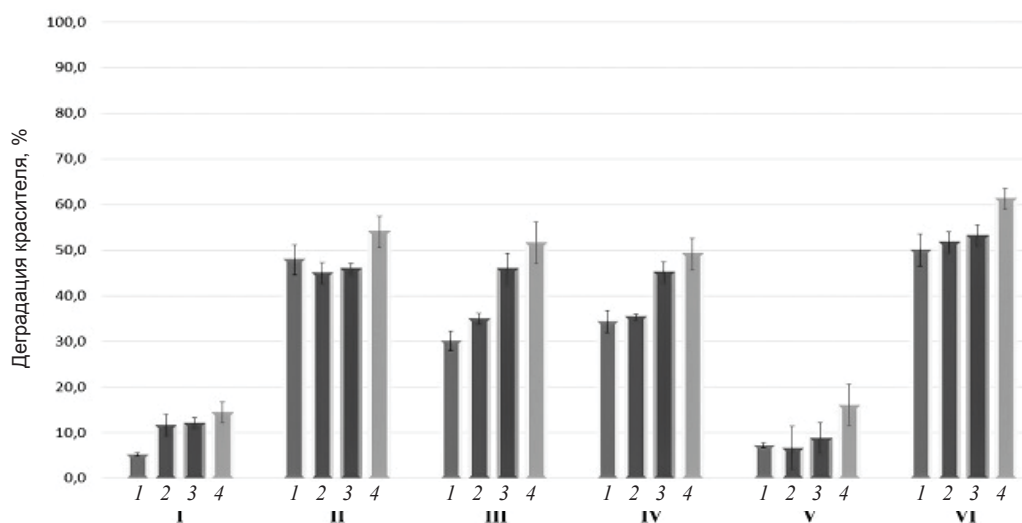


Рис. 4. Дegrаdация красителя в зависимости от времени культивирования, сут.: 1 – 2-е; 2 – 4-е; 3 – 6-е; 4 – 8-е; I – *A. tiophilum* Bv-S; II – *A. brasilense* Sp 107; III – *A. brasilense* Sp7; IV – *A. brasilense* Sp245; V – *A. lipoferum* Sp59b; VI – *A. brasilense* SR80



*A. lipoferum* Sp59b даже с увеличением времени культивирования до 8 дней не могли преодолеть порог деградации красителя в 22%, в то время как *A. brasilense* Sp107 и SR 80 обесцвечивали среду более чем на 45% уже на 2-е сутки выращивания, при этом процент разрушения метилового оранжевого данными штаммами с течением времени культивирования значительно не изменялся. Для штаммов *A. brasilense* Sp7 и Sp245 было характерно более выраженное увеличение степени обесцвечивания красителя с течением времени, что позволяло данным штаммам на 8-е сутки культивирования по своей эффективности в декolorизации достичь уровня штаммов *A. brasilense* Sp107 и SR80.

При изучении влияния температуры культивирования на процесс разрушения красителя нами обнаружено, что исследуемые штаммы наиболее эффективно деградировали метиловый оранжевый при температуре 35°C (рис. 5). Также необходимо отметить, что при температуре 45°C эффективность обесцвечивания красителя всех изученных штаммов значительно снижалась. Интересным представляется тот факт, что штаммы *A. brasilense* Sp7 и Sp245 продемонстрировали высокую стабильность в широком диапазоне температур, в то время как эффективность штаммов *A. brasilense* Sp107 и SR80 находилась в большей зависимости от выбранной температуры культивирования.

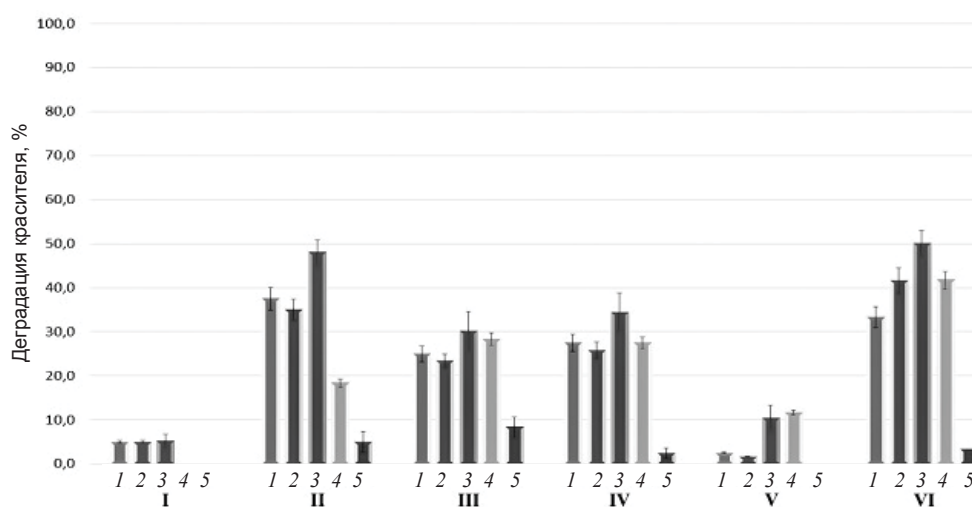


Рис. 5. Деградация красителя в зависимости от температуры культивирования, °C: 1 – 25; 2 – 30; 3 – 35; 4 – 40; 5 – 45; I – *A. tiophilum* Bv-S; II – *A. brasilense* Sp 107; III – *A. brasilense* Sp7; IV – *A. brasilense* Sp245; V – *A. lipoferum* Sp59b; VI – *A. brasilense* SR80

Таким образом, в результате исследований нами обнаружена активность внеклеточной лигнин-пероксидазы у взятых в эксперимент штаммов бактерий рода *Azospirillum*, при этом все изученные штаммы оказались в той или иной степени способны к разрушению модельных соединений лигнина и азокрасителей. Анализ полученных данных показал, что штамм *A. brasilense* Sp245, обладая наибольшей из всех исследуемых штаммов внеклеточной лигнин-пероксидазной активностью, оказался способен в большей степени разрушать препарат нативного лигнина по сравнению с метанолизным, а также продемонстрировал высокую стабильность и эффективность при разложении красителя, как и *A. brasilense* Sp7. Штамм *A. brasilense* SR80, напротив, демонстрируя средние показатели активности фермента, обладал высоким лигнин-деградирующим потенциалом в отношении метано-

лизного препарата лигнина и оказался способен достаточно эффективно разрушать метиловый оранжевый. Все взятые в эксперимент бактерии оказались способны к деградации азокрасителей, однако, необходимо отметить тот факт, что наименьшей способностью к обесцвечиванию метилового оранжевого обладали два штамма: *A. lipoferum* Sp59b и *A. tiophilum* Bv-S, у которых также был отмечен низкий лигнин-деградирующий потенциал. Таким образом, в большинстве случаев нами отмечена положительная корреляция между уровнем активности внеклеточной лигнин-пероксидазы и способностью к деградации лигниноподобных соединений, а также сложных ароматических красителей.

Вопрос о функциональной значимости фенолоксидаз в целом и лигнин-пероксидазы в частности у бактерий рода *Azospirillum* изучен в недостаточной степени. Однако уже сейчас



можно сделать предположение об участии данного фермента в механизмах приспособления и адаптации бактерий, колонизации ими как поверхностных, так и внутренних тканей растений. Изучение бактериальной лигнин-пероксидазы представляет большой теоретический и практический интерес.

В современном мире во всех сферах деятельности человека на первое место выходят так называемые «зелёные» технологии, подразумевающие значительное уменьшение загрязнения окружающей среды и в перспективе её активную очистку и восстановление. Учитывая сложившиеся тенденции, активное изучение и внедрение в биотехнологические циклы микроорганизмов, особенности жизнедеятельности которых позволяют применять их в биодegradации полициклических ароматических соединений, в том числе с повышенной токсичностью, полученные нами данные могут быть перспективными в дальнейших исследованиях в области биоремедиации.

#### Список литературы

1. *Pasti-Grigsby M. B., Paszczynski A., Goszczynski S., Crawford D. L., Crawford R. L.* Influence of aromatic substitution patterns on azo dye degradability by *Streptomyces* spp. and *Phanerochaete chrysosporium* // *Appl. Environ. Microbiol.* 1992. Vol. 38. P. 3605–3613
2. *Ramachandra M., Crawford D. L., Hertel G.* Characterization of an extracellular lignin peroxidase of the lignocellulolytic actinomycete *Streptomyces viridosporus* // *Appl. Environ. Microbiol.* 1988. Vol. 54, № 12. P. 3057–3063.
3. *Kalyani D. C., Patil P. S., Jadhav J. P., Govindwar S. P.* Biodegradation of reactive textile dye Red BLI by an isolated bacterium *Pseudomonas* sp. SUK1 // *Bioresour. Technol.* 2008. Vol. 99. P. 4635–4641.
4. *Никитина В. Е., Ветчинкина Е. П., Пономарева Е. Г., Гоголева Ю. В.* Фенолоксидазная активность бактерии рода *Azospirillum* // *Микробиология.* 2010. Т. 79, № 3. С. 344–351.
5. *Bholay A. D., Borkhataria Bhavna V., Jadhav Priyanka U., Palekar Kaveri S., Dhalkari Mayuri V., Nalawade P. M.* Bacterial lignin peroxidase : A tool for biobleaching and biodegradation of industrial effluents // *Univ. J. Environ. Res. Technol.* 2012. Vol. 2, № 1. P. 58–64.
6. *Orth A. B., Royse D. J., Tien M.* Ubiquity of lignin-degrading peroxidases among various wood-degrading fungi // *Appl. Environ. Microb.* 1993. Vol. 59, № 12. P. 4017–4023.
7. *Bradford M. M.* A rapid and sensitive method for the quantitation of microorganisms qualities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // *Anal. Biochem.* 1976. Vol. 72. P. 248–254.
8. *Ahmad M., Taylor C. R., Pink D., Burton K., Eastwood D., Bending G. D., Bugg T. D. H.* Development of novel assays for lignin degradation: comparative analysis of bacterial and fungal lignin degraders // *Mol. Biosyst.* 2010. № 6. P. 815–821.
9. *Pourbabaee A. A., Malekzadeh F., Sarbolouki M. N., Mohajeri A.* Decolorization of methyl orange (As a model azo dye) by the newly discovered *Bacillus* sp. // *Iranian J. Chem. Eng.* 2005. Vol. 24. P. 41–45.
10. *Nidadavolu S. V.S.S.S.L.H.B., Gudikandula K., Pabba S.K., Maringanti S. C.* Decolorization of triphenyl methane dyes by *Fomitopsis feei* // *Natural Science.* 2013. Vol. 5, № 6. P. 30–35.
11. *Ахмедова З. Р.* Лигнинолитические ферменты базидиальных грибов. Лигнин-пероксидазы гриба *Pleurotus ostreatus* УзБИ-ZAX 108. Выделение, очистка и характеристика изоферментов // *Биохимия.* 1996. Т. 61, № 8. С. 1385–1394.
12. *Никитина В. Е., Купряшина М. А., Петров С. В., Глинская Е. В.* Влияние условий культивирования на лигнин-пероксидазную активность эндофитного и эпифитного штаммов *Azospirillum brasilense* // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2012. Т. 12, вып. 4. С. 52–56.
13. *Ильина Г. В.* Эколого-физиологический потенциал природных изолятов ксилотрофных базидиомицетов : дис. ... д-ра биол. наук. Саратов, 2011. 364 с.
14. *Schlöter M., Hartmann A.* Endophytic and surface colonization of wheat roots (*Triticum aestivum*) by different *Azospirillum brasilense* strains studied with strain specific monoclonal antibodies // *Symbiosis.* 1998. Vol. 25. P. 159–179.
15. *Далимова Г. Н., Абдуазимов Х. А.* Лигнины травянистых растений // *Химия природных соединений.* 1994. № 2. С. 160–177.

#### Образец для цитирования:

*Петров С. В., Купряшина М. А., Пономарева Е. Г., Воробьева С. А., Глинская Е. В., Никитина В. Е.* Скрининг бактерий рода *Azospirillum* по способности к продукции внеклеточной лигнин-пероксидазы и деградации модельных соединений лигнина и азокрасителей // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2017. Т. 17, вып. 2. С. 170–176. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-2-170-176.

#### Cite this article as:

Petrov S. V., Kupryashina M. A., Ponomareva E. G., Vorobeva S. A., Glinskaya E. V., Nikitina V. E. Screening of Genus *Azospirillum* for their Ability to Produce Extracellular Lignin-Peroxidase and the Degradation of Model Lignin Compounds and Azo Dyes. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 2, pp. 170–176 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-2-170-176.