

Национальный исследовательский  
Томский государственный университет  
Биологический институт  
Кафедра физиологии растений и биотехнологии  
МОО «Микробиологическое общество»  
Общество физиологов растений России

**БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИОИНФОРМАТИКА И ГЕНОМИКА  
РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ**

**Материалы Всероссийской молодежной  
научной конференции с международным участием  
26–28 апреля 2016 года**

*Под редакцией  
профессора О.В. Карначук*

Томск  
Издательский Дом Томского государственного университета  
2016

## БИОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ МЕДИ И ЖЕЛЕЗА *PENICILLIUM* SPP., ГРИБАМИ, УСТОЙЧИВЫМИ К МЕТАЛЛАМ\*

Е.В. Стрелкова, Л.Б. Глухова, О.П. Иккерт, О.В. Карначук

Национальный исследовательский Томский  
государственный университет, Томск, Россия

Способность образовывать минералы нитчатými грибами недостаточно изучена. Имеются отдельные исследования, показывающие, что *Aspergillus niger* осаждает кобальт и никель в виде кристаллов оксалатов на поверхности грибных гиф (Magyarosy et al., 2002; Tripathi & Srivastava, 2007). Грибы *Paxillus involutus* могут осаждать медь в виде оксалатов (Schmalenberger et al., 2015). Рост гриба *Purpureocillium lilacinum* в лабораторных условиях на природной воде реки Рио Тинто приводил к образованию ярозита ( $KFe^{3+}_3(SO_4)_2(OH)_6$ ) (Oggerin et al., 2013). Способность образовывать минералы может быть использована для очистки металлосодержащих отходов, в том числе от добычи металлов.

Ранее нами выделены два штамма *Penicillium* spp., устойчивых к металлам, из отходов полисульфидного месторождения. Целью данного исследования было изучение возможности биоминерализации при росте в среде, содержащей повышенные концентрации меди и железа. Штаммы ШГ4В и ШГ4С выращивали на жидкой модифицированной среде Чапека дополнительно содержащей 3 г/л ионов  $Cu^{2+}$  в виде  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  и 3 г/л  $Fe^{2+}$  в виде  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ . Дополнительно исследовали возможность биоминерализации элементарного железа, которое вносили в виде проволоки. Элементный анализ проволоки подтверждает, что более 60% составляет  $Fe^0$  (рис. 1). pH среды во всех экспериментах снижали до 2,5 раствором  $H_2SO_4$ . На 30-е сутки мицелий и осадок центрифугировали, промывали 2%-ной щавелевой кислотой и дважды дистиллированной водой для удаления растворимой фазы. Высушивали при 50°C. Для проведения сканирующей электронной микроскопии, совмещенной с элементным анализом (SEM-EDAX) образцы напыляли золотом.

---

\* Работа поддержана грантом РНФ (соглашение № 14-14-00427 от 14.07.2014 г.).

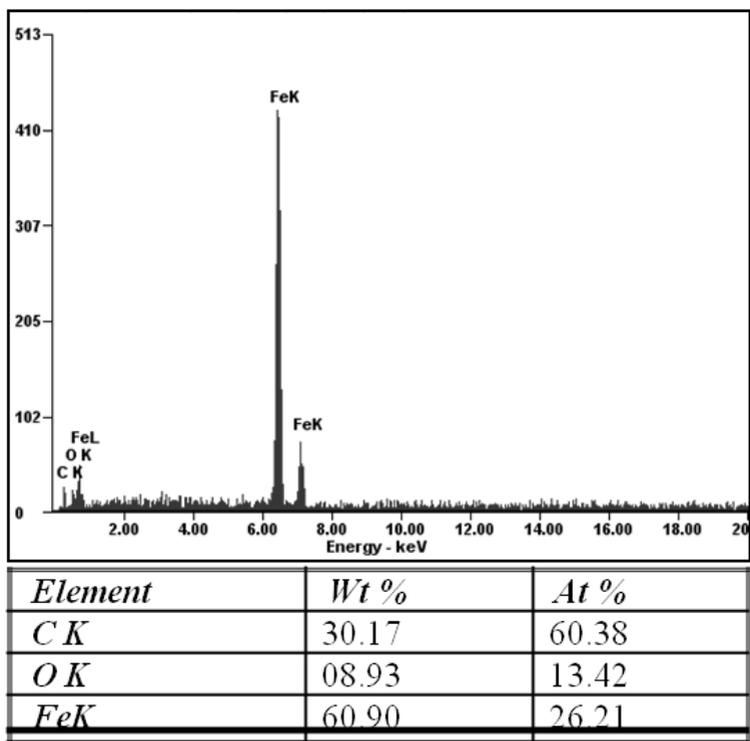


Рис. 1. Элементный анализ проволоки

Анализ осадков и мицелия методами сканирующей электронной микроскопии, совмещенной с элементным анализом (SEM-EDAX) показал, что мицелий *Penicillium* sp.ШГ4С на 30-е сутки формирует слой минеральных отложений в присутствии как растворенного железа, так и элементного. *Penicillium* sp.ШГ4В образовывал минеральные отложения в меньшем количестве (рис. 2).

Основным элементом, обнаруженным в биоминерализованном чехле у обоих штаммов, было железо. Также ШГ4В и ШГ4С образовывали структуры, связанные с мицелием и обогащенные Cu (рис. 3). Для определения минералогического состава осадков и мицелия будет проведен дифракционный анализ.

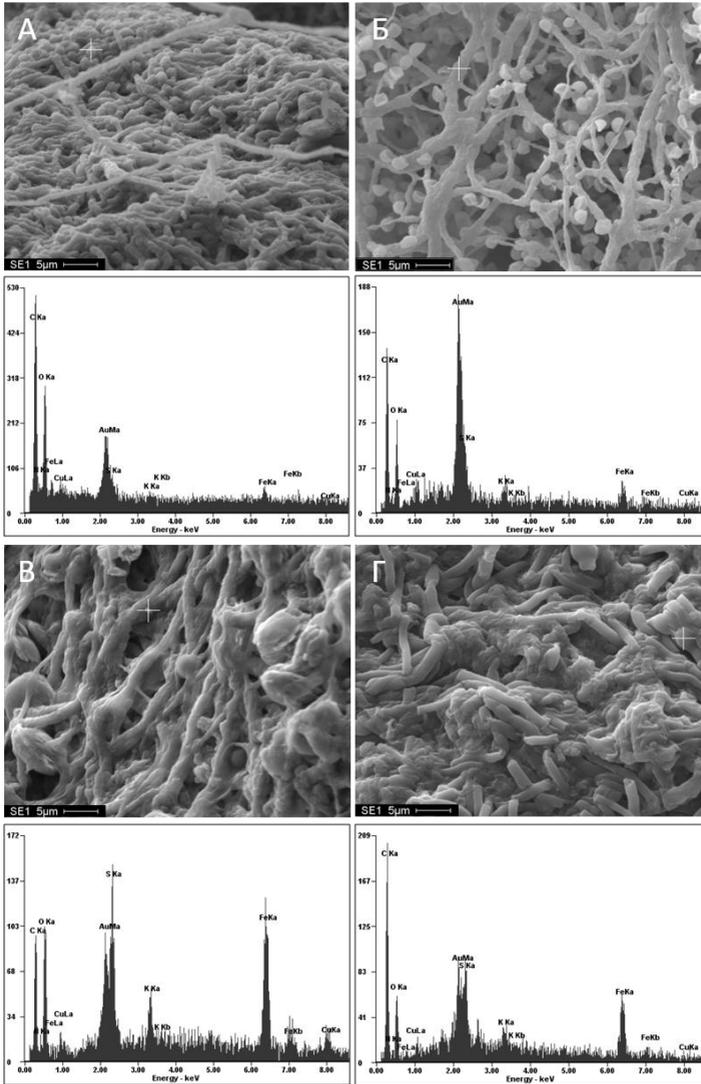


Рис. 2. SEM и EDAX мицелия *Penicillium* sp., выращенные на среде Чапка (30 суток): А – ШГ4В, В – ШГ4С, в присутствии ионов  $Fe^{2+}$ ; Б – ШГ4В, Г – ШГ4С, в присутствии элементарного железа

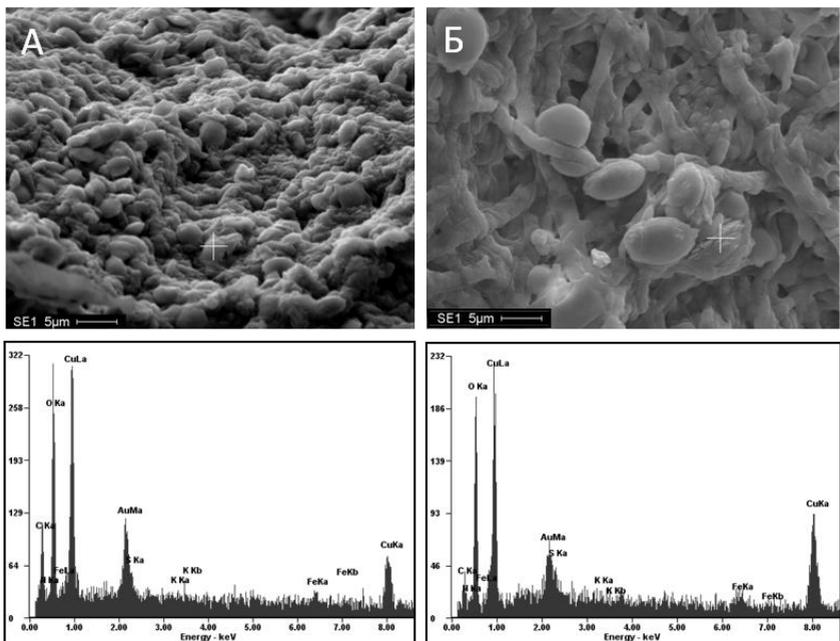


Рис. 3. Круглые структуры на мицелии *Penicillium* sp.:  
 А – ШГ4В, Б – ШГ4С с высоким содержанием меди

### Литература

1. Magyarosy A., Laidlaw R., Kilaas R., Echer C., Clark D., Keasling J. Nickel accumulation and nickel oxalate precipitation by *Aspergillus niger* [Electronic resource] // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2002. Vol. 59 (2–3). P. 382–388. The electronic version of the printing publication. URL: <http://doi.org/10.1007/s00253-002-1020-x>.
2. Oggerin M., Tornos F., Rodríguez N., del Moral C., Sánchez-Román M., Amils R. Specific jarosite biomineralization by *Purpureocillium lilacinum*, an acidophilic fungi isolated from Río Tinto [Electronic resource] // *Environmental Microbiology*. 2013. Vol. 15 (8). P. 2228–2237. The electronic version of the printing publication. URL: <http://doi.org/10.1111/1462-2920.12094>.
3. Schmalenberger A., Duran A.L., Bray A.W., Bridge J., Bonneville S., Benning L.G., Banwart S.A. Oxalate secretion by ectomycorrhizal *Paxillus*

involutus is mineral-specific and controls calcium weathering from minerals [Electronic resource] // Scientific Reports. 2015. The electronic version of the printing publication. URL: <http://doi.org/10.1038/srep12187>.

4. *Tripathi P., Srivastava S.* Mechanism to combat cobalt toxicity in cobalt resistant mutants of *Aspergillus nidulans* // Indian J. Microbiol. 2007. Vol. 47 (47). P. 336–344.

## **КУЛЬТИВИРОВАНИЕ БИНАРНОЙ КУЛЬТУРЫ СУЛЬФАТРЕДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ В БИОРЕАКТОРЕ\***

**Е.А. Латыголец, Д.В. Анциферов, Д.А. Ивасенко,  
Т.С. Федорова, О.В. Карначук**

Национальный исследовательский Томский  
государственный университет, Томск, Россия

Сульфатредуцирующие бактерии (СРБ) – филогенетически разнородная группа анаэробных микроорганизмов, которые используют сульфат качестве терминального акцептора электронов (Muzyer, Stams, 2008). Многие СРБ обнаружены в местах обитания с экстремальными значениями рН, таких как кислые шахтные дренажи, где рН может иметь значение 2 и ниже (Johnson et al., 1993; Moreau et al., 2010). СРБ представляют большой интерес для технологий биоремедиации (Nordstrom, 2000) благодаря своей способности образовывать высокорекреационный сероводород, который, связываясь с ионами металлов, образует нерастворимые сульфиды (Koschorreck, 2008). В исследованиях последних лет отмечается, что одним из важных компонентов микробных сообществ, которые формируются в экосистемах, связанных с добычей металлов, и характеризуются низкими значениями рН, являются спорообразующие СРБ, принадлежащие к роду *Desulfosporosinus* (Peiffer et al., 2009). Однако, несмотря на объективные доказательства их присутствия, ацидофильные

---

\* Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (соглашение № 14.575.21.0067 от 07.08.2014 г. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57514X0067).