

Рост сульфатредуцирующих бактерий в присутствии ионов железа в высоких концентрациях*Климова Ксения Максимовна**E-mail: ksenia.m.klimova@gmail.com*

Известно, что геологические породы и минеральные отложения, созданные гидротермальной циркуляцией, охватывают микробные сообщества с экологическими и функциональными характеристиками, соответствующими химии их основного субстрата [1]. Кроме того, было показано, что микроорганизмы взаимодействуют со своей породой или минеральной средой путем растворения и осаждения минералов.

Исследование физиологического и филогенетического разнообразия прокариот глубинных экосистем с использованием культивирования и молекулярных подходов показало их важную экологическую роль в биохимических циклах углерода (C), азота (N), серы (S) и железа (Fe) [2]. Для микроорганизмов железо является потенциальным субстратом как для запасания энергии (восстановление железа), так и для дыхания (окисление железа). Кроме того, Fe^{2+} используется как кофактор во многих ферментах. [3]. В гидротермальных системах океана и суши железо является одним из основных элементов. Особого внимания железо заслуживает при рассмотрении биогеохимии срединно-океанических хребтов, поскольку активно растворяется и осаждается серой, при этом формируя физическую структуру сульфидных отложений. Сульфидное осаждение металлов из гидрометаллургических растворов представляет значительный промышленный интерес, поскольку оно может обеспечить селективность в разделении металлов и вторичное использование железа. Целью данной работы является определение устойчивости к ионам железа (Fe^{2+}) для штаммов сульфатредуцирующих бактерий, выделенных из геотермально нагреваемых вод в Томской области и Забайкальском крае. Представители типов Nitrospirae (штамм *Thermodesulfovibrio* V2) Firmicutes (штамм *Desulfotomaculum* Bu1-1) являются термофильными бактериями с оптимумом для роста 55-65 °C. В качестве референсного штамма, не связанного с геотермальными местообитаниями, был выбран штамм *Desulfovibrio* A2 (Deltaproteobacteria), растущий при 28 °C.

Штаммы культивировались на стандартной среде Видделя (Widdel, Bak, 1992) при нейтральном pH=7.0-7.2. В качестве источника ионов Fe^{2+} к среде добавляли водный раствор $FeSO_4 \times 7H_2O$ постепенно увеличивая концентрацию в каждом пассаже. Подсчет клеток проводили в конце логарифмической фазы роста с использованием фазово-контрастного микроскопа. Эксперимент выполняли в трех параллельных повторностях.

Все исследованные штаммы сульфатредуцирующих бактерий показали высокую устойчивость к ионам данного металла. Рост штамма *Thermodesulfovibrio* V2 зафиксирован при концентрации 2.5 г/л (Рисунок 1, А), *Desulfotomaculum* Bu1-1 при 2.0 г/л (Рисунок 1, Б). *Desulfovibrio* A2 способен к росту при содержании железа 5.0 г/л, хотя численность клеток снижалась уже при его концентрации 3.0 г/л (Рисунок 1, В).

Ранее было показано, что *Desulfovibrio* sp. A2 способен переносить до 800 мг/л меди в жидких средах, используя лактат в качестве донора электронов и источника углерода, что превышает предельные допустимые концентрации данного металла для других бактериальных штаммов в 10-16 раз [4].

Исследование генома устойчивых к железу микроорганизмов предполагает как минимум один ген, участвующий в гомеостазе меди и железа: Cu-Fe протеин (DA2₂478), *Desulfovibrio*

Так же генетические детерминанты для Fe-резистентности могут быть связаны с плазмидами. Кроме того, есть еще один механизм устойчивости к железу – клетки переносят

высокие начальные концентрации ионов металла в связи с постепенным осаждением сероводородом в нерастворимые формы.

Штаммы *Desulfotomaculum* Bu1-1 и *Thermodesulfobivrio* V2 также показали высокую толерантность к ионам двухвалентного железа. Механизмы их резистентности к могут быть схожи с механизмами, показанными в работах [4] и [5]. В дальнейшем планируются исследования геномов данных микроорганизмов и поиск генов, отвечающих за устойчивость к ионам Fe²⁺.

Список литературы:

1. Wheat C. G., Mottl M. J., Fisher A. T., Kadko D., Davis E. E., Baker E. Heat flow through a basaltic outcrop on a sedimented young ridge flank // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2004. Vol. 5. P. 118-136.
2. Yucel M., Gartman A., Chan C. S., George W., Luther I. I. Hydrothermal vents as a kinetically stable source of iron-sulphide-bearing nanoparticles to the ocean // *Nat. Geosci.* 2011. Vol. 4. P. 367–371.
3. Emerson D. The irony of iron – biogenic iron oxides as an iron source to the Ocean // *Front. Microbiol.* 2016. Vol. 6. P. 321-336.
4. Mancini S., Abicht H., Karnachuk O., Solioz M. Genome Sequence of *Desulfobivrio* sp. A2, a Highly Copper Resistant, Sulfate-Reducing Bacterium Isolated from Effluents of a Zinc Smelter at the Urals // *Journal of bacteriology.* 2011. Vol. 193. P. 6793–6794.
5. Karnachuk, O. V., et al.. Precipitation of Cu-sulfides by copper-tolerant *Desulfobivrio* isolates // *Geomicrobiol. J.* 2008. Vol. 25. P. 219–227.