

**Влияние меди на биохимический состав беломорской красной водоросли
Vertebrata fucoides (Ceramiales)****Научный руководитель – Тараховская Елена Роллановна*****Яньшин Николай Александрович****Аспирант*

Санкт-Петербургский государственный университет, Биологический факультет,

Санкт-Петербург, Россия

E-mail: kolya1256@gmail.com

Белое море – небольшое внутреннее море бассейна Северного Ледовитого океана, характеризующееся высокой антропогенной нагрузкой, в том числе значительным количеством источников тяжелых металлов, расположенных в прибрежных населенных пунктах и промышленных комплексах [4]. Среди тяжелых металлов медь играет особую роль, являясь микроэлементом, необходимым для нормального развития фотосинтезирующих организмов [5]. Однако в избыточных концентрациях этот металл токсичен и может нарушать ключевые физиологические и биохимические процессы в живых клетках [3]. В связи с постоянным ростом количества источников этого металла в Мировом океане [2] мы оценивали способность водорослей адаптироваться к изменениям концентрации меди в морской воде. Целью данной работы явилось изучение влияния меди на биохимический состав красной водоросли *Vertebrata fucoides*.

V. fucoides (Hudson) Kuntze является типичным представителем красных водорослей порядка *Ceramiales* северных морей [6]. Талломы *V. fucoides* были собраны в сублиторальной зоне Кандалакшского залива Белого моря, после чего их в течение 7 сут выдерживали в морской воде с добавлением CuSO_4 (4 μM) или без добавок (контроль). Содержание фотосинтетических пигментов и фенольных соединений в клетках водорослей определяли спектрофотометрически. Также нами был исследован молекулярный профиль водоросли с помощью газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС).

Экспозиция в воде с повышенной концентрацией меди привела к увеличению содержания хлорофилла «а» и общего содержания фенольных соединений в клетках *V. fucoides* примерно в 1.5 и 2 раза соответственно. Результаты метаболомного профайлинга показывают, что даже за такой непродолжительный период экспозиции как 7 сут на уровне отдельных метаболитов и групп метаболически связанных соединений произошли значительные изменения. При повышенной концентрации меди в талломах *V. fucoides* увеличилось содержание ряда свободных аминокислот (в частности, более чем в 70 раз выросло содержание глутамата), а также было отмечено накопление широкого спектра бромированных фенольных метаболитов (включая доминирующие соединения: ланозол и его производные), содержание которых увеличилось в 2–12 раз. Фенольные соединения известны своими антиоксидантными свойствами и способностью хелатировать ионы тяжелых металлов [1].

Таким образом, стимуляция биосинтеза бромфенолов может играть ключевую роль в адаптации *V. fucoides* к токсичному воздействию меди. Соединения, содержание которых в клетках снижалось после экспозиции в воде с добавлением CuSO_4 , включали аконитовую кислоту и большое количество сахаров и сахароспиртов. Это может объясняться повышенным расходом низкомолекулярных сахаров для обеспечения синтеза фенольных соединений и подавлением реакций цикла Кребса.

Исследование выполнено в рамках инициативного проекта СПбГУ (ID 121942306 / 121942358).

Источники и литература

- 1) Carpena M., García-Pérez P., García-Oliveira P., Chamorro F., Otero P., Lourenço-Lopes C., Cao H., Simal-Gandara J., Prieto M.A. Biological properties and potential of compounds extracted from red seaweeds // *Phytochemistry Reviews*. 2023. V. 22. P. 1509–1540.
- 2) Leal P.P., Hurd C.L., Sander S.G., Armstrong E., Fernández P.A., Suhrhoff T.J., Roleda M.Y. Copper pollution exacerbates the effects of ocean acidification and warming on kelp microscopic early life stages // *Scientific Reports*. 2018. V. 8: 14763.
- 3) Santos R.W., Schmidt É.C., Vieira I.C., Costa G.B., Rover T., Simioni C., Barufi J.B., Soares C.H.L., Bouzon Z.L. The effect of different concentrations of copper and lead on the morphology and physiology of *Hypnea musciformis* cultivated in vitro: a comparative analysis // *Protoplasma*. 2015. V. 252. P. 1203–1215.
- 4) Vinogradova A.A., Kotova E.I. Pollution of Russian northern seas with heavy metals: Comparison of atmospheric flux and river flow // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. V. 55. P. 695–704.
- 5) Yruela I. Copper in plants // *Brazilian journal of plant physiology*. 2005. V. 17. No. 1. P. 145–156.
- 6) AlgaeBase: <https://www.algaebase.org>