

В.В. МИХАЙЛОВ

## Исследования Тихоокеанского института биоорганической химии ДВО РАН в области морской микробиологии

*В 2015–2019 гг. в Тихоокеанском институте биоорганической химии ДВО РАН было продолжено изучение биоразнообразия, экологических свойств и биотехнологического потенциала морских микроорганизмов. Описаны новые таксоны морских бактерий и грибов. Получены новые сведения о противомикробной активности бактерий. Изучена микобиота морских водорослей и трав. В результате исследований появились новые фундаментальные знания о жизнедеятельности морских микроорганизмов.*

*Ключевые слова:* морская микробиология, бактерии, микроскопические грибы, таксономия, экология, биотехнология.

**Researches of PIBOC FEB RAS in the area of marine microbiology.** V.V. MIKHAILOV (G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok).

*The studies on biodiversity, environmental properties and biotechnological potential of marine microorganisms were continued during 2015–2019. New taxa of marine bacteria and fungi were described. New information has been obtained on the antimicrobial activity of bacteria and mycobiota of algae and marine herbs investigated. New fundamental knowledge was obtained about the vital activity of marine microorganisms.*

*Key words:* marine microbiology, bacteria, microscopic fungi, taxonomy, ecology, biotechnology.

Многие страны поддерживают исследования в области морской микробиологии и биотехнологий. В России же, являющейся морской державой, такие исследования почти не ведутся. Это относится и к такой быстро развивающейся отрасли науки, как микробный синтез ценных для человека веществ. Между тем необходимость продвижения данного научного направления очевидна. Без микробиологических исследований невозможно будет отказаться от химизации морского «сельского хозяйства» (марикультуры) и перевести его на биотехнологии, что выгодно как с экономической, так и с экологической точек зрения. Не менее важной задачей современной микробиологии является изучение микроорганизмов с целью решения проблемы охраны окружающей среды от бытового, сельскохозяйственного и техногенного загрязнения. Биотехнологии, основанные на достижениях микробиологии, могут дать большой экономический эффект и при создании безотходных производств, не нарушающих экологического равновесия. Важнейшим направлением есть и будет, конечно же, поиск, изучение и культивирование морских бактерий и грибов, синтезирующих различные биологически активные вещества. Метаболиты морских микроорганизмов могут быть использованы не только в биомедицине, но и как эмульгаторы, адгезины, поверхностно-активные вещества, для производства биodeградельного пластика и многого другого.

---

МИХАЙЛОВ Валерий Викторович – доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ведущий лабораторией (Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток). E-mail: mikhailov@piboc.dvo.ru

Исследования в области морской микробиологии ведутся в Тихоокеанском институте биоорганической химии им. Г.Б. Елякова Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТИБОХ ДВО РАН) около 30 лет. Эти исследования объединены единой тематикой – изучением фундаментальных биологических свойств и вытекающего из них экологического и биотехнологического потенциала морских микроорганизмов. Основной базой для академических и прикладных работ послужила созданная в 1985 г. коллекция морских микроорганизмов ТИБОХ ДВО РАН – единственная в России, которая целиком специализируется на морских гетеротрофных бактериях, а также грибах-микромикетах из домена *Eukarya*. Коллекция входит во Всемирную федерацию коллекций культур – WFCC (номер 644, официальный акроним – КММ) и получила международное признание.

Океан, как известно, самый большой резервуар биоты, но биоразнообразие бактерий и грибов, обитающих в нем, изучено лишь в малой степени. Сотрудниками лаборатории микробиологии валидно описано более 250 новых видов, свыше 50 родов, 5 новых семейств морских бактерий и 5 новых видов грибов. Это выдающийся результат.

Морские микроорганизмы существенно отличаются от наземных и синтезируют различные биологически активные вещества, которые не обнаружены в почвенных микроорганизмах, несмотря на более чем полувековую историю таких поисков. Сведения о микроорганизмах в фундаментальной связке биоразнообразие ↔ экология ↔ биотехнология позволили выявить ряд перспективных микробных продуцентов первичных и вторичных биоактивных метаболитов. Основной целью исследований биологического разнообразия морских микроорганизмов является изучение фено-, гено- и филотипических свойств и признаков морских бактерий и грибов с последующим таксономическим описанием.

В 2015–2019 гг. были продолжены исследования в области систематики морских бактерий и грибов. Лабораторией внесен большой вклад в изучение бактерий. С помощью молекулярно-биологических методов валидно были описаны новые виды бактерий: филум (тип) *Proteobacteria* – *Sphingorhabdus pacifica*, *Rheinheimera japonica*, *Pseudomonas glareae*, *Amylibacter ulvae*, *Thalassospira australica*, *Labrenzia polysiphoniae*; филум *Bacteroidetes* – *Flavobacterium maris*, *Winogradskyella litoriviva*, *Lutibacter holmesii*, *Lacinutrix cladophorae*, *Olleya algicola*, *Polaribacter staleyi*, *Aquimarina algiphila*, *Winogradskyella profunda*, *Winogradskyella algae* [3, 5, 6–13, 15–19]. Сотрудники лаборатории микробиологии О.И. Недашковская, Л.А. Романенко и В.В. Михайлов были приглашены для подготовки нового Определителя архей и бактерий Берги (*Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria* / ed. B.W. Whitman. Нью-Джерси: John Wiley & Sons, Inc., in association with Bergey's Manual Trust, 2015). Были написаны следующие главы: *Algibacter*, *Aquimarina*, *Arenibacter*, *Gramella*, *Leeuwenhoekella*, *Maribacter*, *Mesonina*, *Ulvibacter*, *Vitellibacter*, *Zobellia*, *Cyclobacteriaceae* fam. nov., *Algoriphagus*, *Echinicola*, *Pontibacter*, *Flammeovirgaceae* fam. nov., *Reichenbachiella*, *Roseivirga*, *Salinibacterium*, *Winogradskyella*, *Arenicella*.

Три новых вида грибов – *Penicillium piltunense* Kirichuk et Pivkin, sp. nov., *Penicillium ochotense* Kirichuk et Pivkin, sp. nov. и *Penicillium attenuatum* Kirichuk et Pivkin, sp. nov. – были выделены из образцов грунта шельфа о-ва Сахалин возле бухты Пильгун (Охотское море). У грибов были секвенированы ITS18 последовательности, гены  $\beta$ -тубулина и кальмодулина. Описание новых видов микроскопических грибов пополняет знания о биоразнообразии микобиоты дальневосточных морей России. Грибы – очень важные для функционирования биосферы организмы-эукариоты [4].

Многие работы были посвящены изучению экологических свойств и биотехнологическому потенциалу морских микроорганизмов. Например, из полипов и красных водорослей, обитающих в Японском море, а также из образцов грунта и воды этого моря было выделено несколько сотен штаммов бактерий. Методами молекулярной биологии изучены их таксономическое положение и антимикробная активность в отношении микроорганизмов III и IV групп патогенности – *Escherichia coli* K-12 CL588, *Enterococcus faecium* CIP 104105, *Staphylococcus aureus* CIP 65.8<sup>T</sup>, *Staphylococcus epidermidis* CIP 81.55<sup>T</sup>, *Bacillus subtilis* CIP 52.65<sup>T</sup>, *Xanthomonas* sp. pv. *badrii* LMG 546, *Candida albicans* КММ 455. Было

показано, что около 70 % морских бактерий из полипов и красных водорослей обладают антибактериальной активностью, в то время как в образцах грунта и воды бактерий с такими свойствами было значительно меньше [14].

Видовое богатство грибов морских макрофитных сообществ изучено незначительно. Таксономический состав микромицетов вторичных морских грибов, ассоциированных с бурыми водорослями рода *Sargassum* (*S. pallidum*, *S. miyabei*) Японского моря, включает 29 видов мицелиальных грибов из 11 родов, подавляющая часть которых относится к факультативным морским грибам, и только 3 вида известны как облигатные морские микромицеты – *Asteromyces cruciatus*, *Paradendryphiella arenariae*, *Halosigmoidea marina*. Проведен сравнительный анализ видового разнообразия грибов, ассоциированных с двумя видами бурых водорослей рода *Sargassum*. Установлено, что видовое разнообразие мицелиальных грибов, ассоциированных с *S. pallidum*, в 3 раза выше, чем разнообразие микромицетов на *S. miyabei*.

Морская трава *Zostera marina* L. (взморник) произрастает на защищенных участках акваторий, где она образует обширные заросли, стабилизирующие акваземы. Мицелиальные грибы, ассоциированные с морскими травами, до сегодняшнего дня остаются малоизученной группой микроорганизмов. В результате исследований микобиоты морской травы *Z. marina* и акваземов в местах ее обитания выделено и идентифицировано 28 видов мицелиальных грибов, относящихся к девяти родам. Среди них подавляющее большинство отнесено к факультативным морским грибам и только *Paradendryphiella arenariae* и *Monodictys pelagica* являлись облигатными видами. Наиболее разнообразно по сравнению с другими родами был представлен род *Penicillium* (13 видов), вторым по числу видов был род *Trichoderma* (6 видов). Отмечено по два вида родов *Cladosporium* и *Aspergillus*, а также по одному виду родов *Paradendryphiella*, *Monodictys*, *Beauveria*, *Arthrinium* и *Acremonium*. Представители рода *Penicillium* доминировали по численности, самыми массовыми среди них были *P. thomii*, *P. glabrum* и *P. simplicissimum*. Разнообразие микромицетов в акваземах, отобранных в местах произрастания *Z. marina*, также в основном определяли виды рода *Penicillium*. Из 12 видов, принадлежавших к четырем родам, 7 видов относились к роду *Penicillium*, 3 – к роду *Trichoderma* (*T. longibrachiatum*, *T. viride*, *T. harzianum*). Грибы зеленых водорослей не изучены. Исследование микобиоты зеленых водорослей (*Ulva flexuosa*, *U. lactuca*, *U. linza*), показало, что видовой состав их грибного населения радикально отличается от грибов бурых водорослей и морских трав. Доминируют на поверхности водорослей грибы родов *Alternaria* и *Pestalotiopsis* (*A. litorea*, *A. tenuissima*, *A. alternata* и *Pestalotiopsis* spp.) [1, 2].

Сотрудники лаборатории химии микробных метаболитов (заведующий к.х.н. Ш.Ш. Афиятуллоев) из бактерий и грибов выделили несколько десятков химических соединений с необычной структурой и биологической активностью, в том числе противораковой. Обнаружение новых вторичных метаболитов, обладающих биологической активностью, открывает перспективы их дальнейшего использования в самых различных областях – от биомедицины до сельского хозяйства.

Исследования морских микроорганизмов таят в себе неисчерпаемые возможности. Здесь можно прогнозировать быстрые и важные достижения для социально-экономического прогресса общества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Киричук Н.Н., Пивкин М.В. Вторичные морские грибы, ассоциированные с бурыми водорослями рода *Sargassum* залива Петра Великого (Японское море) // Микология и фитопатология. 2015. Т.49, № 3. С. 146–150.
2. Киричук Н.Н., Пивкин М.В. Мицелиальные грибы морской травы *Zostera marina* Linnaeus, 1753 бухты Рифовой (залив Петра Великого, Японское море) // Биол. моря. 2015. Т. 41, № 5. С. 319–323.
3. Ivanova E.P., López-Pérez M., Webb H.K., Ng H.J., Dang T.H.Y., Zhukova N.V., Mikhailov V.V., Crawford R.J., Rodriguez-Valera F. *Thalassospira australica* sp. nov. isolated from sea water // Antonie van Leeuwenhoek J. Microbiol. 2016. Vol. 109, N 8. P. 1091–1100.

4. Kirichuk N.N., Pivkin M.V., Matveeva T.V. Three new *Penicillium* species from marine subaqueous soils // Mycological Progress. 2017. Vol. 16, N 1. P. 15–26.
5. Kurilenko V.V., Romanenko L.A., Isaeva M.P., Svetashev V.I., Mikhailov V.V. *Winogradskyella algae* sp. nov., a marine bacterium isolated from the brown alga // Antonie van Leeuwenhoek J. Microbiol. 2019. Vol. 112, N 5. P. 731–739. – DOI: 10.1007/s104820181207-5 JCR, Scopus.
6. Nedashkovskaya O.I., Kухlevskiy A.D., Zhukova N.V., Kim S.B. *Amylibacter ulvae* sp. nov., a new alphaproteobacterium isolated from the Pacific green alga *Ulva fenestrata* // Archives of Microbiology. 2016. Vol. 198, N 3. P. 251–256.
7. Nedashkovskaya O.I., Kim S.-G., Stenkova A.M., Kухlevskiy A.D., Zhukova N.V., Mikhailov V.V. *Aquimarina algiphila* sp. nov., a chitin degrading bacterium isolated from the red alga *Tichocarpus crinitus* // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2018. Vol. 68, N 3. P. 892–898. – DOI: 10.1099/ijsem.0.002606.
8. Nedashkovskaya O.I., Kim S.-G., Zhukova N.V., Lee J.-S., Mikhailov V.V. *Lacinutrix cladophorae* sp. nov., a flavobacterium isolated from the green alga *Cladophora stimpsonii*, transfer of *Flavirhabdus iliipiscaria* Shakeela et al. 2015 to the genus *Lacinutrix iliipiscaria* comb. nov. and emended description of the genus *Lacinutrix* // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2016. Vol. 66, N 11. P. 4339–4346.
9. Nedashkovskaya O.I., Van Trappen S., Zhukova N.V., De Vos P. *Lutibacter holmesii* sp. nov., a marine bacterium of the family *Flavobacteriaceae* isolated from the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*, and emended description of the genus *Lutibacter* // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2015. Vol. 65, pt 11. P. 3991–3996.
10. Nedashkovskaya O.I., Kim S.-G., Zhukova N.V., Mikhailov V.V. *Olleya algicola* sp. nov., a new marine bacterium isolated from the green alga *Ulva fenestrata* // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2017. Vol. 67, pt. 7. P. 2205–2210.
11. Nedashkovskaya O.I., Kim S.-G., Balabanova L.A., Zhukova N.V., Bakunina I.Y., Mikhailov V.V. *Polaribacter staleyii* sp. nov., a polysaccharide-degrading marine bacterium isolated from the red alga *Ahnfeltia tobuchiensis* // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2018. Vol. 68, N 2. P. 623–629. – DOI: 10.1099/ijsem.0.002554.
12. Nedashkovskaya O.I., Kухlevskiy A.D., Zhukova N.V., Kim S.-J., Rhee S.-K., Mikhailov V.V. *Winogradskyella litoriviva* sp. nov., isolated from coastal seawater // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2015. Vol. 65, pt 10. P. 3652–3657.
13. Romanenko L.A., Kurilenko V.V., Guzev K.V., Svetashev V.I. Characterization of *Labrenzia polysiphoniae* sp. nov. isolated from red alga *Polysiphonia* sp. // Archives of Microbiology. 2019. Vol. 201, N 5. P. 705–712. Bibliogr.: 30 ref. – DOI: 10.1007/s00203-019-01640-0.
14. Romanenko L.A., Kurilenko V.V., Chernysheva N.Yu., Kalinovskaya N.I., Dmitrenok P.S., Popov R.S., Mikhailov V.V. Diversity and antimicrobial activity of hydrobionts associated microorganisms from the Sea of Japan with the occurrence of tropodithietic acid producing bacteria // Microbiol. Res. J. Int. 2017. Vol. 20, N 6. P. 1–14.
15. Romanenko L.A., Tanaka N., Svetashev V.I., Kurilenko V.V., Mikhailov V.V. *Flavobacterium maris* sp. nov. isolated from shallow sediments of the Sea of Japan // Archives of Microbiology. 2015. Vol. 197, N 7. P. 941–947.
16. Romanenko L.A., Tanaka N., Svetashev V.I., Mikhailov V.V. *Pseudomonas glareae* sp. nov., a marine sediment-derived bacterium with antagonistic activity // Archives of Microbiology. 2015. Vol. 197, N 5. P. 693–699.
17. Romanenko L.A., Tanaka N., Svetashev V.I., Kalinovskaya N.I., Mikhailov V.V. *Rheinheimera japonica* sp. nov., a novel bacterium with antimicrobial activity from seashore sediments of the Sea of Japan // Archives of Microbiol. 2015. Vol. 197, N 4. P. 613–620.
18. Romanenko L.A., Tanaka N., Svetashev V.I., Mikhailov V.V. *Sphingorhabdus pacificus* sp. nov., isolated from sandy sediments of the Sea of Japan seashore // Archives of Microbiol. 2015. Vol. 197, N 2. P. 147–153.
19. Romanenko L.A., Kurilenko V.V., Guzev K.V., Svetashev V.I., Mikhailov V.V. *Winogradskyella profunda* sp. nov. isolated from the Chukchi Sea bottom sediments // Archives of Microbiol. 2019. Vol. 200, N 7. P. 45–50. – DOI.org/10.1007/s00203-018-1567-2.