

МОРСКИЕ ПРАКТИКИ В ОБРАЗОВАНИИ ВИРУСОЛОГОВ: ЗАЧЕМ ВЕЗТИ СТУДЕНТОВ НА БЕЛОЕ МОРЕ

Летаров А.В.^{1,2}, доктор биологических наук, доцент,
Летарова М.А.^{1,2}, Иванов¹ П.А., кандидат биологических наук,
Кузнецов А.С.²

тел. 8(903) 1370152, letarov_av@sysbiomed.ru

¹ФБУН НИИ СБМ Роспотребнадзора,

¹ФИЦ Биотехнологии РАН

Ключевые слова: бактериофаги, подготовка студентов-вирусологов, Арктические моря, прибрежные морские экосистемы, высокоплотные микробные системы

В докладе освещены проблемы преподавания современных концепций вирусологии и в особенности биологии бактериофагов, существенно выходящих за рамки классического восприятия взаимоотношений фаг-бактерия как системы паразита и хозяина. Обобщается опыт преподавания специальных курсов в ходе проведения полевых практик и научных исследований по биологии морских бактериофагов на базе Биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ им. М.В. Ломоносова (ББС МГУ)

Классическая наука о вирусах сформировалась во многом в результате экспериментальных исследований ограниченного числа модельных объектов (систем вирус-хозяин) и большинство учебных курсов по вирусологии и ее отдельным областям сфокусированы преимущественно на молекулярных аспектах устройства вирусных частиц и взаимодействий вирус-клетка. В результате вирусология воспринимается большинством студентов как чисто лабораторная дисциплина, в которой контекст условий природной среды, из которой получены те или иные вирусные изоляты, учитывается лишь опосредовано, в основном по данным других исследователей. Это положение вещей в полной мере характерно и для биологии

бактериофагов, получение которых в лучшем случае связывают со вторичными местообитаниями типа сточных вод.

В то же время в современной биологии бактериофагов развиты новые концепции, выходящие за рамки традиционной парадигмы, рассматривающей бактериофаги как естественных врагов бактерий. Вместо этого создается многомерная картина взаимодействий фагов и бактерий на всех уровнях организации – клеточном и субклеточном, популяционном, на уровне микробного сообщества, макро-экосистемы и биосферы в целом. Итоги этих взаимодействий часто приводят к увеличению сложности, активности и стабильности микробных сообществ, при этом фаги и подобные фагам генетические элементы принимают участие почти во всех аспектах жизни бактерий. Накапливаются данные о том, что микробные сообщества способны развивать не прямой ответ на активность фагов в них опосредованный физиологическими реакциями микробных клеток, которые сами по себе не подвергаются инфекции (см. наш обзор [1]). Однако сообщение подобных концепций мультицентровых сетевых взаимодействий студентам в ходе обучения даже на специализированных университетских кафедрах сталкивается с рядом сложностей. В виду сложного и не всегда определенного представления о системах названных выше взаимодействий, учащимся необходимо освоить и связать в единую систему большое число отдельных примеров, каждый из которых сложен для восприятия, особенно если основные положения молекулярной биологии еще не усвоены ими до уровня свободного применения. Лабораторные практические занятия преимущественно строятся на достаточно надежных моделях, которые должны уверенно срабатывать даже в неопытных руках, поэтому они ориентируют скорее на классическое, нежели новое восприятие предмета.

В качестве решения данного педагогического противоречия мы предлагаем перенос практических занятий по биологии бактериофагов на морскую полевую практику. Прибрежные экосистемы северных морей и, в частности, Белого моря представляют собой уникальную природную среду, где сложность и многообразие связей между микробными популяциями можно наблюдать практически непосредственно, как на макроскопическом уровне, так и с помощью обычных световых микроскопов. Особый научный и демонстрационно-

педагогический интерес представляют собой высокоплотные микробные сообщества, развивающиеся на локальных биогеохимических барьерах (рис. 1)

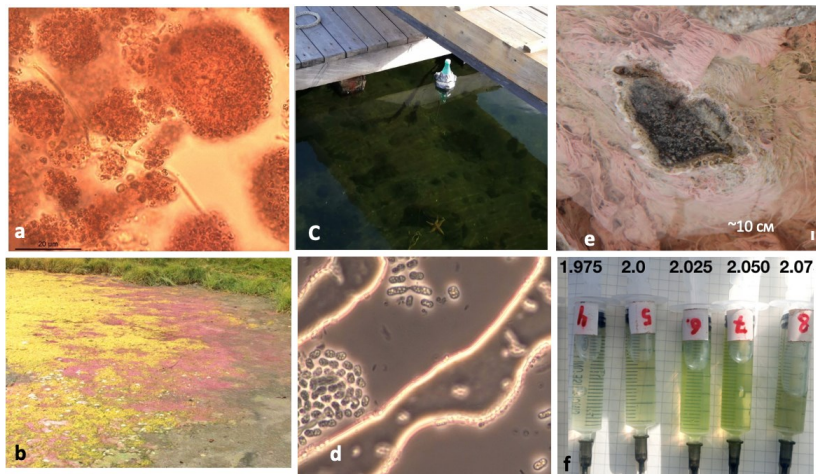


Рис. 1. Высокоплотные микробные сообщества прибрежной экосистемы района ББС МГУ. *a* – не ассоциированные с поверхностью биопленки пурпурных серных бактерий; *b* – бактериальные маты и разрастания пурпурных СБ; *c* – плавучее устройство для накопления углерод-окисляющих и углеводород-эмульгирующих бактерий *in situ*; *d* – высокоплотное сообщество, ассоциированное с поверхностью капель жидкого парафина (накопительная культура без добавления иных источников углерода); *e* – разрастания тионовых серных бактерий в сероводородном ручье Вонючей губки. Розовый оттенок обусловлен присутствием тионовых СБ; *f* – Образцы воды зоны хемоклина оз. Трехцветное, сентябрь 2021. Шаг по глубине 2.5 см. Окраска воды связана с присутствием зеленых серных бактерий *Chlorobium paheovibrioides* $\sim 10^8$ кл/мл

Осуществление простых экспериментов по выделению систем фаг-хозяин, визуализации вирусоподобных частиц методами флюоресцентной микроскопии, моделирования развития эфемероидных высокоплотных сообществ (например, углеводород-окисляющих, рис. 1, c,d) и других с использованием материала, самостоятельно собранного в природной среде, сложность организации которой не

только понимается теоретически, но и наблюдается непосредственно (в том числе с помощью тактильных и ольфакторных впечатлений) создает необходимую психоэмоциональную и интеллектуальную базу для восприятия и структурного упорядочения концепций сложных взаимодействий в мире бактериофагов и, в некоторой степени, других вирусных и/или микробных систем.

Данный подход был нами впервые опробован в ходе биологической практики МФТИ, осуществлявшейся на Беломорской биостанции СПбГУ на острове Средний в 2015-2016 г.г. под руководством М.А. Летаровой. С 2021 г. нами организована специализированная практика студентов 3 курса кафедры вирусологии МГУ им. М.В. Ломоносова (руководитель практики проф. А.В. Летаров) на Беломорской биостанции МГУ им. Н.А. Перцова (ББС МГУ), на которую были перенесены практические занятия по бактериофагам, ранее осуществлявшиеся в ходе учебно-производственной практики на базе биологического факультета МГУ.

Весьма существенно, что выполнение задач практики создает научный задел, представляющий интерес как с точки зрения исследования данных экосистем, так и с позиций общей вирусологии. Изучение фаговых сообществ приполярных местообитаний активно развивается в мире [2], но работ, выполненных культуральными методами, позволяющими экспериментально исследовать арктические и антарктические системы фаг-хозяин и адаптивное значение взаимодействий в них крайне мало. Поиск литературы по ключевым словам «bacteriophages, White Sea» вообще не обнаружил релевантных работ за исключением нашей статьи [3], (см. также рис. 1f) посвященной комплексному изучению меромиктического озера Трехцветное, отделившегося от Белого моря. Полученные в ходе практик системы фаг-хозяин стали предметом одной защищенной дипломной работы бакалавра и пяти работ студентов разных выполняемых под руководством М.А. Летаровой в лаб. вирусов микроорганизмов ФИЦ Биотехнологии РАН при участии лаб. вирусных систем НИИ СБМ Роспотребнадзора в настоящее время. Исследование активности и разнообразия бактериофагов в арктических морских прибрежных экосистемах имеет также ряд прикладных аспектов, в том числе в контексте мониторинга изменений данных достаточно хрупких

экосистем под влиянием хозяйственной деятельности человека (в том числе в условиях активного освоения северных территорий) и изменений климата. Данные экосистемы характеризуются также большим биоразнообразием, что создает возможности для биопроспектинга новых микроорганизмов и бактериофагов, а также их генов для практического применения. Объединение учебных практик и научной тематики создает дополнительные возможности для демонстрации студентам необычных явлений и биологических систем, присутствующих в знакомом им контексте, в том числе с применением методов, которые не представляется возможным осуществить в условиях краткосрочной практики на ББС МГУ.

Заключение. Специализированные биологические практики, направленные на ознакомление студентов с разнообразием и активностью бактериофагов в реальной природной среде являются эффективным средством подготовки современных специалистов в области вирусологии. Особенности прибрежных экосистем арктических морей и, в частности, Белого моря создают уникальные возможности для успешного осуществления подобных научно-образовательных мероприятий.

Библиографический список:

1. Letarov A.V., Letarova M.A. The Burden of Survivors: How Can Phage Infection Impact Non-Infected Bacteria? /A.V. Letarov//International Journal of Molecular Sciences. – 2023-т.24- вып.3 – 2733
2. Heinrichs M.E., Piedade G.J., Popa O., Sommers P., Trubl G., Rahlff J. Breaking the Ice: A Review of Phages in Polar Ecosystems./ M.E.Heinrichs// Methods in Molecular Biology. – 2024 – т. 2738 С. 31-71
3. Savvichev A.S., Babenko V.V., Lunina O.N., Letarova M.A., Boldyreva D.I., Veslopolova E.F., Demidenko N.A., Kokryatskaya N.M., Krasnova E.D., Gaisin V.A., Kostryukova E.S., Gorlenko V.M., Letarov A.V. Sharp water column stratification with an extremely dense microbial population in a small meromictic lake, Trekhtzvetnoe./A.S. Savvichev// Environmental Microbiology. – 2024 - т.20 – С. 3784-3797

MARINE VIROLOGY PRACTICAL COURSES: WHY TO TAKE STUDENTS TO THE WHITE SEA?

Letarov A.V., Letarova M.A., Ivanov P.A., Kuznetsov A.S.

Keywords: *bacteriophages, teaching virology to students, Arctic sea, coastal marine ecosystems, high-density microbial systems*

The report discusses the problems of teaching modern concepts in virology and, specially in bacteriophage biology, which go far beyond the classical understanding of the interactions of bacteria and phages as merely host-parasite systems. The summary of experience of introduction of students to special courses in the context of marine virology practical course and scientific research at the Pertsov White Sea Biological station of the Lomonosov Moscow State University is given