

ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1-7-20

EDN: AEMDOT

УДК 578.4:639.44

Научная статья / Research article

Биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 пресноводными двустворчатыми моллюсками в стерильной аквариумной воде

М.К. Булавина✉, Т.Н. Абашина^{ID}, Н.Е. Сузина^{ID},
В.Н. Поливцева^{ID}, А.А. Зимин^{ID}

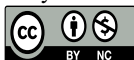
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Пущино,
Российская Федерация
✉ruffusramone@yandex.ru

Аннотация. Изучена биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 двустворчатыми моллюсками *U. pictorum* и *A. cygnea*. Проведены тесты на содержание *E. coli* в моллюсках и сравнение активности биоаккумуляции вирусов в зависимости от корма. Выявлено, что бактериофаги T4 и RB43, несмотря на различия условий и строение вируса, показывают сходную модель биоаккумуляции, где их титр зависит от активности моллюска и меняется циклами. Бактериофаг размножается за счет естественной микрофлоры животного и может удерживаться им благодаря фильтрационному типу питания. На активность моллюска также влияют особенности кормления.

Ключевые слова: бактериофаги, *Escherichia virus* T4, *Escherichia phage* RB43, биоаккумуляция, двустворчатые моллюски

Вклад авторов. Булавина М.К. – проведение экспериментов, написание статьи, подготовка иллюстраций; Абашина Т.Н. – проведение экспериментов; Сузина Н.Е. – редактирование текста; Поливцева В.Н. – редактирование текста; Зимин А.А. – идея исследования, разработка подхода, редактирование текста, подготовка иллюстраций, научное руководство.

© Булавина М.К., Абашина Т.Н., Сузина Н.Е., Поливцева В.Н., Зимин А.А., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-64-00017, <https://rscf.ru/project/24-64-00017/>.

Благодарности. Авторы выражают признательность за приготовление микробиологических сред и подготовку посуды Ю.Н. Дручковой, за подготовку и передачу исходного штамма T4 и RB43 А.Н. Никулиной, за сбор моллюсков Н.А. Никулину и П.В. Машкину.

История статьи: поступила в редакцию 17.09.2024; доработана после рецензирования 25.10.2024; принята к публикации 10.12.2024.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Булавина М.К., Абашина Т.Н., Сузина Н.Е., Поливецова В.Н., Зимин А.А. Биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 пресноводными двустворчатыми моллюсками в стерильной аквариумной воде // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 1. С. 7–20. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-7-20>

Bioaccumulation of bacteriophages T4 and RB43 by freshwater bivalves in sterile aquarium water

Maria K. Bulavina✉, Tatiana N. Abashina^{ID}, Nataliya E. Suzina^{ID},
Valentina N. Polivtseva^{ID}, Andrei A. Zimin^{ID}

*G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms
Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation*

✉ruffusramone@yandex.ru

Abstract. In our study, we investigated the bioaccumulation of T4 and RB43 bacteriophages by the bivalve mollusks *U. pictorum* and *A. cygnea*. Additionally, tests were conducted to determine the content of *E. coli* in the mollusks, and a comparison of the bioaccumulation activity of the viruses based on their diet was made. The results of the studies indicated that T4 and RB43 bacteriophages, despite differences in conditions and virus structure, exhibit a similar bioaccumulation model where their titers depend on the activity of the mollusk and their cyclical changes. The phage is reproduced by the natural microflora of the animal and can be retained due to its filtration feeding type. The activity of the mollusk is also influenced by its feeding characteristics.

Keywords: bacteriophages, *Escherichia virus* T4, *Escherichia phage* RB43, bioaccumulation, bivalve mollusks

Authors' contribution. *Bulavina M.K.* – conducting experiments, writing an article, preparation of illustrations; *Abashina T.N.* – conducting experiments; *Suzina N.E.* – editing of the test; *Polivtseva V.N.* – editing of the test; *Zimin A.A.* – idea of investigation, developing the approach, editing of the test, preparing illustrations, scientific guidance.

Funding. This study was supported by a grant from the Russian Scientific Foundation No. 24-64-00017, <https://rscf.ru/project/24-64-00017/>.

Acknowledgements. The authors express their gratitude to Yu.N. Druchkova for the preparation of microbiological media and laboratory ware; to A.N. Nikulina, N.A. Nikulin and P.V. Mashkin for providing the original strains T4 and RB43 and for clam harvesting.

Article history: received 17.09.2024; revised 25.10.2024; accepted 10.12.2024.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Bulavina MK, Abashina TN, Suzina NE, Polivtseva VN, Zimin AA. Bioaccumulation of bacteriophages T4 and RB43 by freshwater bivalves molluscs in sterile aquarium water. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):7–20. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-7-20>

Введение

Биоаккумуляция – процесс накопления живыми организмами различных веществ, при котором животное быстрее поглощает вещество, чем оно выводится из него. Особую опасность представляет аккумулялирование вирусов в живых организмах, особенно в тех, которые употребляются в пищу. Двустворчатые моллюски могут служить организмами-аккумуляторами для обнаружения вирусных патогенов, так как они уже успешно применяются при мониторинге химического и биологического загрязнения [1].

В качестве модели биоаккумуляции вирусов могут использоваться бактериофаги. Их численность коррелируется с вирусной; они являются показателем фекального загрязнения воды, и их можно применять в качестве индикатора кишечных вирусов в пище [2]. Они легко обнаруживаются в воде в больших концентрациях, а численность можно отследить с помощью посева [3].

Бактериофаги влияют на численность бактерий, их эволюцию и горизонтальный перенос генетического материала между ними [4]. Фаги могут влиять на микрофлору моллюсков, перенося различные гены между бактериями благодаря трансдукции.

Все эти факторы подтолкнули нас к подробному изучению биоаккумуляции фагов моллюсками.

Материалы и методы

Опыты проводились на *Unio pictorium* (перловица обыкновенная) (Linnaeus, 1758) и *Anodonta cygnea* (беззубка обыкновенная) (Linnaeus, 1758), принадлежащих к семейству *Unionidae*, отряду *Unionida*, классу двустворчатых или пластинчатожаберных моллюсков (*Bivalvia*) [5]. Моллюски имели размеры: *U. pictorium* 6,8–7,5 см в длину, *A. cygnea* достигали 8,3–9 см (рис. 1).

Моллюски были отобраны в р. Ока около г. Пущино в мае-августе 2023 г. и содержались в условиях, приближенных к естественным. Моллюски проживали в стеклянных аквариумах объемом 15–40 л с аэрацией в течение 1–8 мес. (рис. 2).

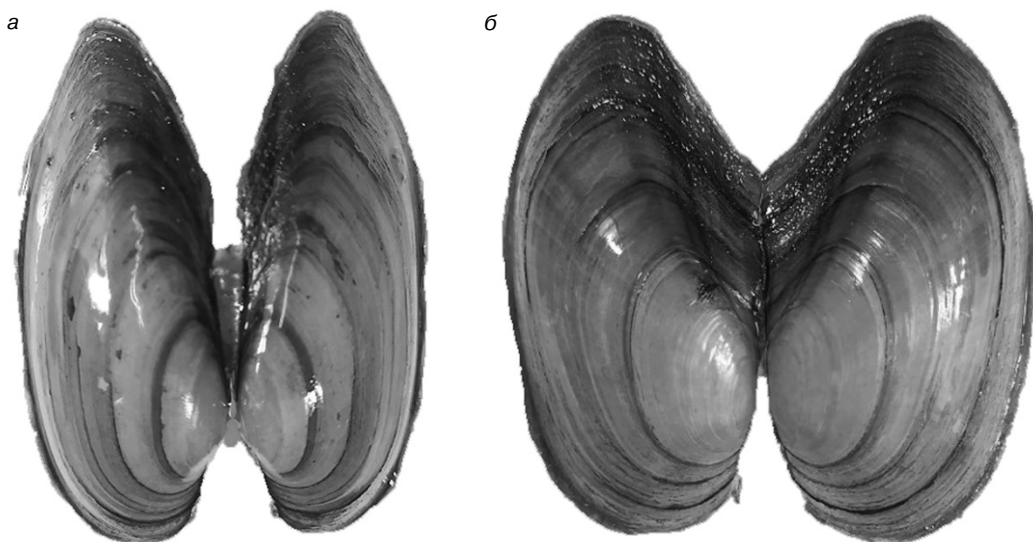


Рис. 1. Раковины моллюсков, используемых в опытах: а – *U. Pictorium*; б – *A. cygnea*
 Источник: фотографии М.К. Булавиной, Т.Н. Абашинной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Поливцевой, А.А. Зимина.
Figure 1. Shells of mollusks used in experiments: а – *U. pictorium*; б – *A. cygnea*
 Source: photo by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.



Рис. 2. Временное содержание *U. pictorium* и *A. cygnea* в аквариуме с уровнем воды 30 см:
 1 – перловицы; 2 – беззубки; 3 – фильтр аэр-лифт; 4 – дополнительная аэрация
 Источник: фотографии М.К. Булавиной, Т.Н. Абашинной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Поливцевой, А.А. Зимина.
Figure 2. Temporary holding of *U. pictorium* and *A. cygnea* in the aquarium with water level of 30 cm: 1 – *U. pictorium*; 2 – *A. cygnea*; 3 – Filter air-lift; 4 – Additional aeration
 Source: photo by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

Кормление моллюсков производили детритом или разбавленной культурой *Chlorella vulgaris*, входящий в порядок – *Chlorellales* семейство – *Chlorellaceae* род – *Chlorella* (Beijerinck, 1890) [6]. Каждый из моллюсков был

помещен в стакан с 200 мл воды из аквариума, где они ранее проживали. Среда была автоклавирована под давлением 0,05–0,2 МПа. Стерильность воды проверялась с помощью посева на среду LB. Вода аэрировалась с помощью воздушного компрессора, что воссоздавало привычные условия обитания и позволяло равномерно распределить фаги в воде (рис. 3).

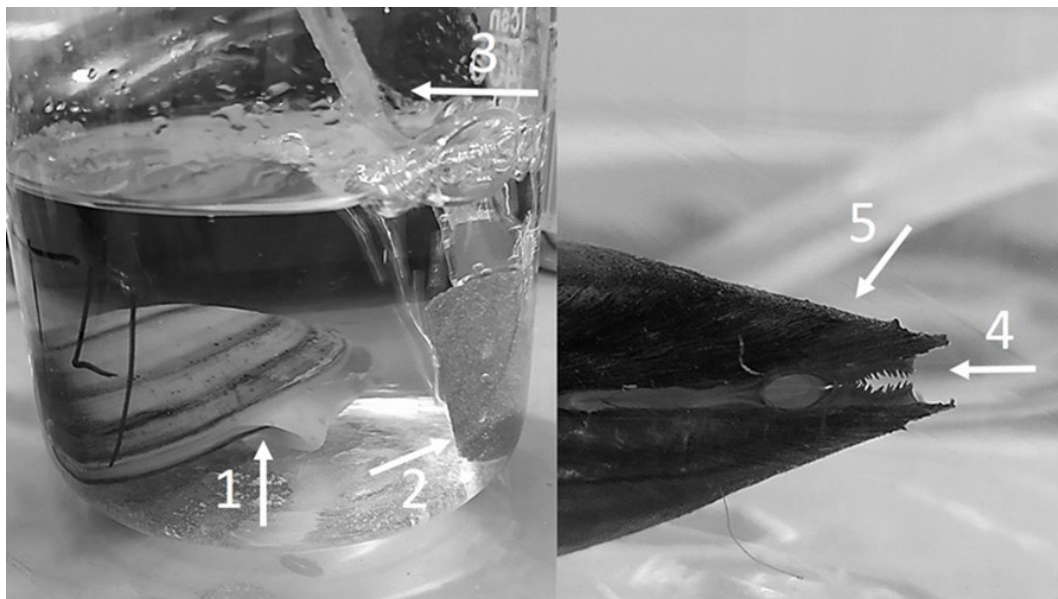


Рис. 3. *U. pictorium* в экспериментальных условиях:

1 – нога моллюска; 2 – воздушный компрессор; 3 – стакан; 4 – сифон; 5 – раковина.

Открытие сифона моллюском указывает на благоприятные для него условия

Источник: фотографии М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Полищевой, А.А. Зимина.

Figure 3. *U. pictorium* in experimental conditions:

1 – clam leg; 2 – air compressor; 3 – glass; 4 – siphon; 5 – shell

Source: photo by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

После открытия раковины добавлялась суспензия фага в исходной концентрации 1×10^3 или 1×10^4 БОЕ/мл в количестве 2 мл. Пробы воды в объеме 1 мл отбирались после внесения суспензии фагов с помощью стерильной пипетки и пробирки сразу и через 1, 3, 6, 24 ч. Позже были добавлены пробы через 5, 15 и 30 мин, 48 и 72 ч. Образцы отбирались в трех повторностях.

Все образцы титровались по методу Грация, вносились на среду LB на чашки Петри и культивировались в течение ночи при 37°C , после чего производился подсчет образовавшихся бляшек и вычислялось среднее значение для каждой пробы.

Эксперименты проводились с бактериофагами *Escherichia virus* T4 и RB43. Фаг T4 дикого типа не способен осуществлять трансдукцию, однако мутанты способны к трансдукции. Природные псевдо-T-четные бактериофаги, такие как RB43, содержат цитозин, а значит, способны к трансдукции плазмид [7; 8].

Бактериофаг Т4 несет на поверхности своего капсида основной антиген, белок Нос, который играет роль в связывании фага с различными полимерными гликозидами биологического происхождения. Белок Нос Т4 имеет три иммуноглобулиноподобных домена, экспонированных на поверхности капсида и участвующих в связывании гликозидов.

Белок Нос фага RB43 короткий и не имеет иммуноглобулин подобных доменов. Нос фага Т4 имеет сходство с белком «воротничка» Wac фага RB43, вероятно также обеспечивающим адгезивность. Белок Wac RB43 имеет последовательности, сходные со вторым доменом Нос [9]. Количественно данных доменов адгезивности примерно в 23 раза меньше. В работе мы предполагали проверить, повлияет ли это на биоаккумуляцию фагов двустворчатыми моллюсками.

Фаги получали, используя штамм *Escherichia coli* В. В качестве контроля использовалась стерильная вода из аквариума, в которую вносилась суспензия фага в той же концентрации и объеме; пробы отбирались по схеме, представленной выше. Бляшки фагов, выросших при титровании проб, контролировали с помощью ПЦР-реакций, специфичных к конкретным бактериофагам.

Проведены тесты на содержание *E. coli* как в моллюсках, так и в среде. Для обнаружения *E. coli* в моллюсках *U. pictorum* и *A. cygnea* также помещались в те же условия, описанные выше. Пробы отбирались через 30 мин, 1 и 2 ч, затем вносились на среду LB в количестве 20 или 200 мкл и культивировались в течение ночи при 37 °С. Затем производился подсчет колоний.

Результаты исследований

Можно отметить наиболее часто встречающиеся особенности биоаккумуляции. Распространено повышение титра спустя час, в этот момент начинается активное размножение бактериофага. Часто формируются плато, где активность моллюска минимальна и титр фага почти не меняется. Титр часто снижается спустя сутки и далее, что может говорить об удержании моллюском фага, по большей части это встречается в опытах с перловицей, вероятно, этот вид моллюска более предрасположен к накоплению фага. Однако встречается и повышение титра спустя сутки, но гораздо реже (рис. 4, табл.).

Для нетрансдуцирующего бактериофага Т4 характерны высокие концентрации, что является показателем более активного размножения. Также можно заметить, что фаг Т4 не так активно циркулирует в воде, как трансдуцирующий фаг RB43, значения титра которого в воде заметно различаются. Однако RB43 сохраняет достаточно низкие концентрации при большом разбросе значений, что может говорить о том, что активность его размножения гораздо ниже, чем у Т4 (рис. 5). Эта тенденция сохраняется и при выращивании фага в культуре LB.

Опыты проводились в открытой системе, и можно заметить схожий механизм циркуляции фага в среде и моллюске. Титр изменяется циклически, в зависимости от активности моллюска, который попеременно всасывает и выпускает порцию воды с взвесью бактериофагов.

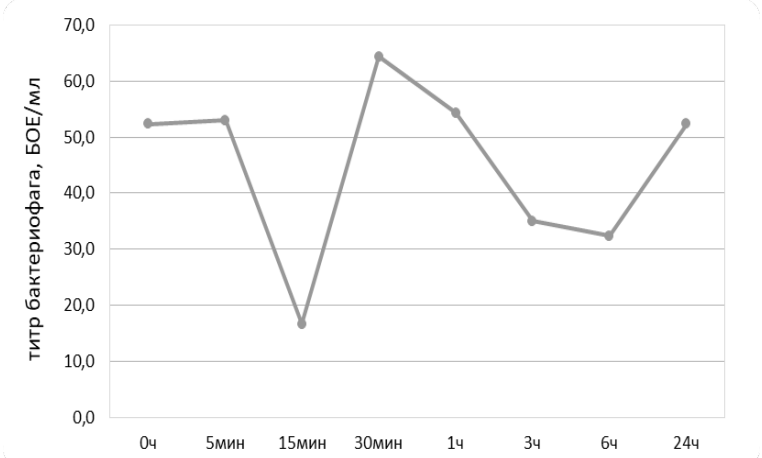


Рис. 4. Усредненные показатели изменения титра в зависимости от времени в одном из экспериментов с Т4 и *A. cygnea*

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Полищевой, А.А. Зиминим.

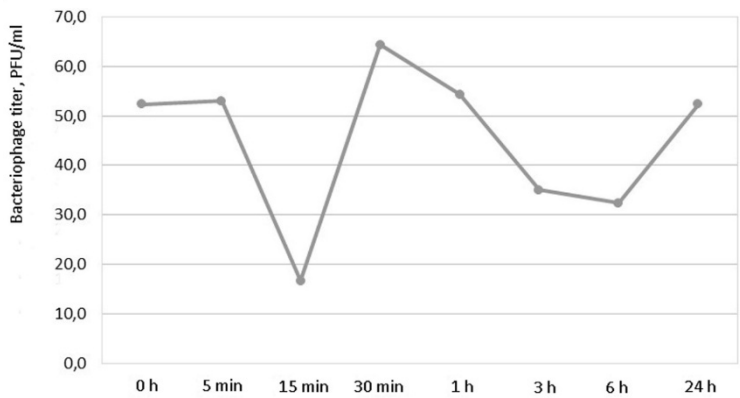


Figure 4. The average of the titer changes as a function of time in one of the experiments with T4 and *A. cygnea*

Source: compiled by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

Изменение титра Т4 в одном из экспериментов с *A. cygnea* в зависимости от времени в трех разных точках

Фаг Т4	Титр фага в пробах в разных промежутках времени от начала опыта							
	0 ч	5 мин	15 мин	30 мин	1 ч	3 ч	6 ч	24 ч
Титр в разных точках, БОЕ/мл	46	66	8	56	68	31	37	64
	47	21	34	80	53	41	21	33
	64	72	8	57	42	33	39	60
Среднее значение	$5,3 \times 10^2$	$5,3 \times 10^2$	$1,7 \times 10^2$	$6,4 \times 10^2$	$5,4 \times 10^2$	$3,5 \times 10^2$	$3,3 \times 10^2$	$5,2 \times 10^2$

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Полищевой, А.А. Зиминим.

Change in the titer of T4 over time at three different points during the experiment with *A. cygnea*

Phage T4	The titer of phage in samples at different time intervals from the beginning of the experiment							
	0 h	5 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	24 h
Titer at Different Time Points, PFU/ml	46	66	8	56	68	31	37	64
	47	21	34	80	53	41	21	33
	64	72	8	57	42	33	39	60
Expectation value	5.3×10^2	5.3×10^2	1.7×10^2	6.4×10^2	5.4×10^2	3.5×10^2	3.3×10^2	5.2×10^2

Source: compiled by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

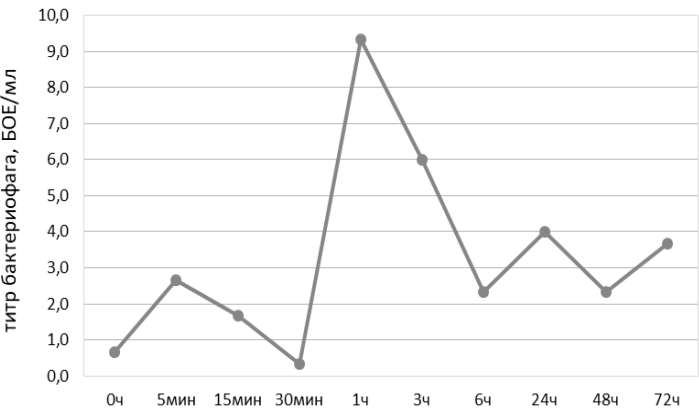


Рис. 5. Усредненные показатели изменения титра в зависимости от времени в одном из экспериментов с RB43 и *A. cygnea*

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Поливцевой, А.А. Зиминим

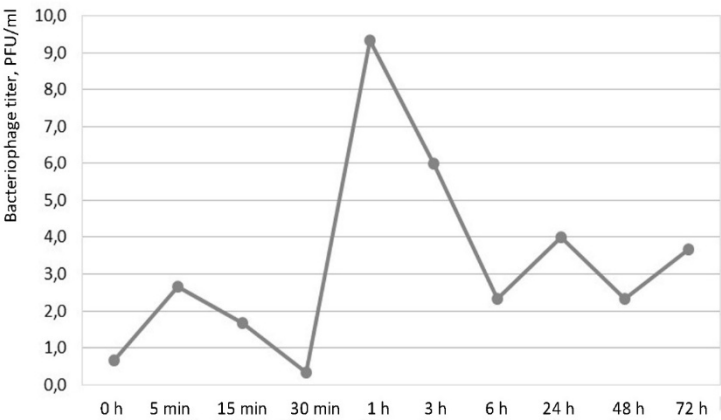


Figure 5. Mean titer changes over time in one of the RB43 and *A. cygnea* experiments

Source: compiled by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

Проведены посевы на наличие *E. coli* в среде и моллюсках, где зафиксировали не только наличие бактерий, но и корреляцию с опытами по биоаккумуляции.

При посеве проб объемом 20 мкл рост часто полностью отсутствовал, что может служить показателем того, что в среде нет бактерий; однако при посеве проб объемом 200 мкл рост наблюдался. Тем не менее в обоих случаях рост

все еще достаточно низкий. Видимо, *E. coli* находится в среде и моллюсках в небольшом количестве.

В случае пробы объемом 200 мкл можно проследить постепенное повышение титра спустя 30 мин и 1 ч от начала эксперимента. Скорее всего, именно в это время моллюск выпускает жидкость. Однако спустя 2 ч от начала опыта титр снижается в обоих случаях. Скорее всего, в это время моллюск вновь всасывает воду вместе с взвесью бактерий. Если сравнивать с экспериментами по биоаккумуляции, можно предположить, что активность фагов часто повышается где-то в промежутке 1–3 ч от начала эксперимента (рис. 6).

В естественной микрофлоре моллюска присутствуют *E. coli*, за счет которых идет размножение фагов в воде и моллюске. Содержание количества *E. coli* в среде зависит от активности самого моллюска и частоты выброса взвеси бактерий с ней в среду. Микрофлора каждого моллюска уникальна, чем можно объяснить различия в результатах.

Титр фага в контроле не сильно изменялся, но падал к концу эксперимента. Похоже фаг начинает сорбироваться на стенках стакана спустя 24 ч, что коррелирует с результатами опытов с моллюсками (рис. 7).

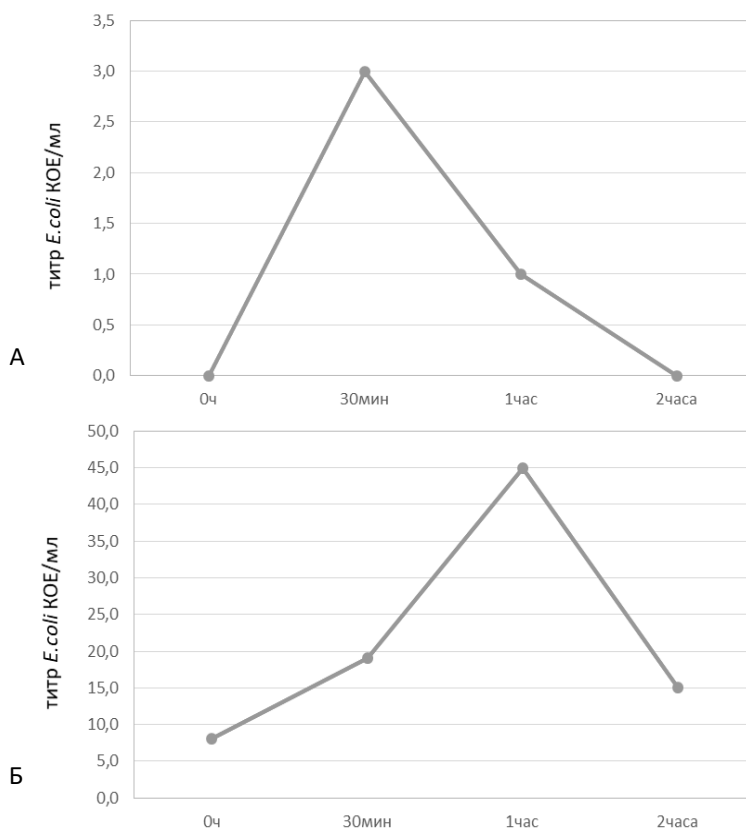


Рис. 6. Изменение титра *E. coli*, входящей в естественную микрофлору моллюска в зависимости от времени: А – проба 20 мкл; Б – проба 200 мкл

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Поливцевой, А.А. Зиминим.

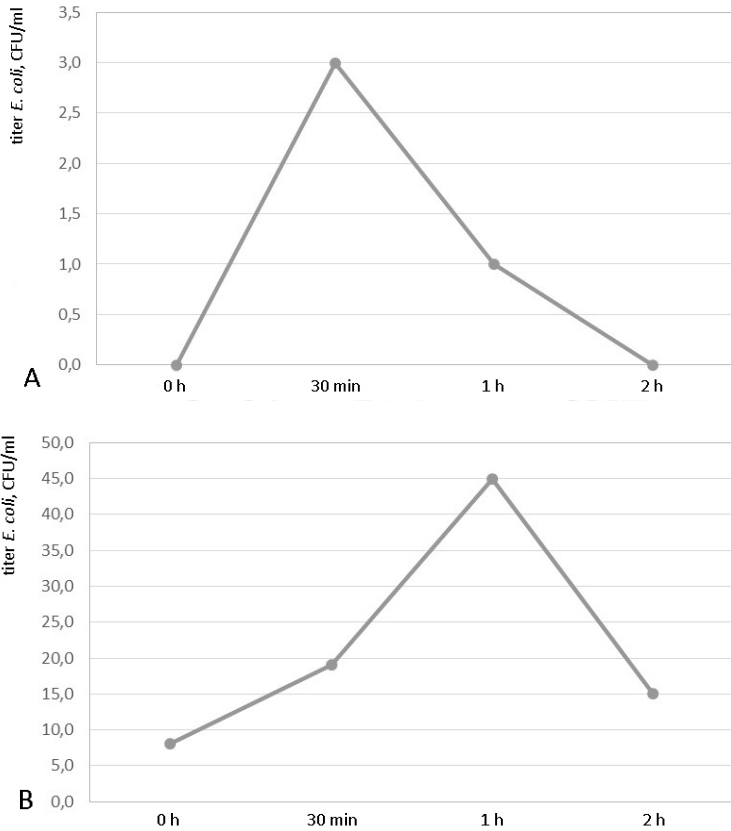


Figure 6. Changes in the titer of *E. coli* entering the natural microflora of the mollusk over time:
A – 20 mL sample; B – 200 mL sample

Source: compiled by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

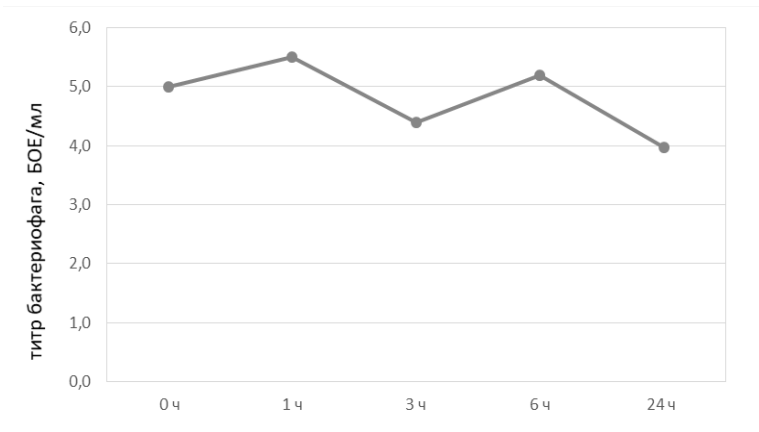


Рис. 7. Усредненные показатели изменения титра в зависимости от времени в контроле в одном из экспериментов с T4

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Поливецовой, А.А. Зиминым.

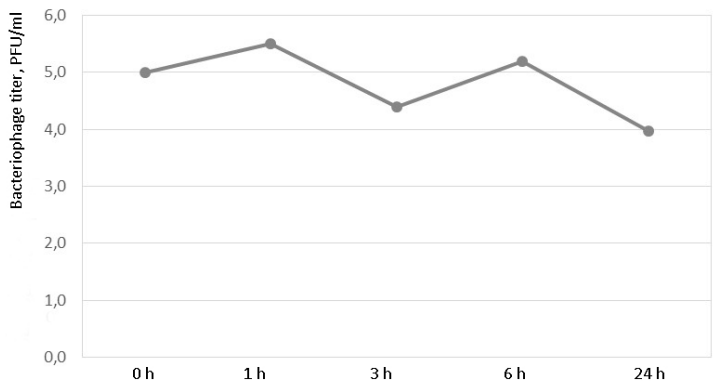


Figure 7. Mean titer changes over time in the control group during one of the T4 experiments
Source: compiled by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

На активность моллюска могут влиять и особенности кормления (рис. 8).

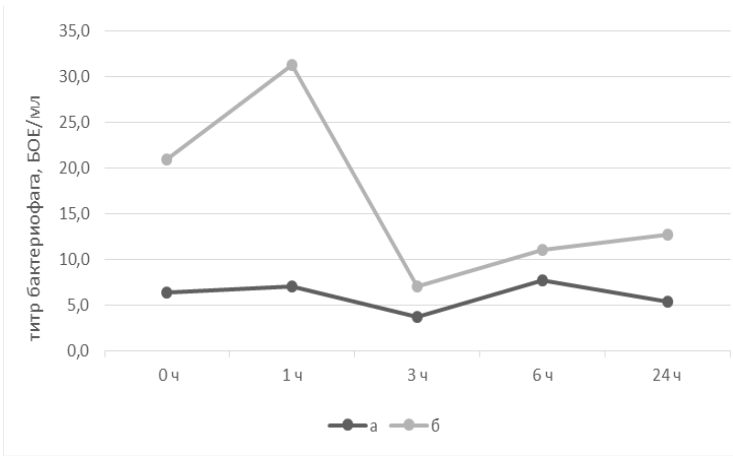


Рис. 8. Усредненные показатели изменения титра T4 в зависимости от особенностей кормления, влияющей на активность *U. pictorium*:

a – кормление разбавленной культурой *Ch. vulgaris*; *b* – кормление детритом

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Полищевой, А.А. Зиминим.

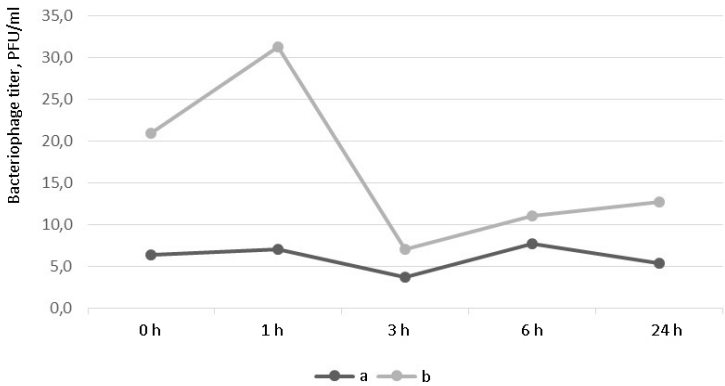


Figure 8. Average changes of the titer of T4 depending on feeding characteristics, affecting the activity of *U. pictorium*: *a* – feeding with diluted *Ch. vulgaris* culture; *b* – feeding with detritus

Source: compiled by the M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

На графике усредненных показателей изменения титра в зависимости от времени в одном из экспериментов с Т4 и *A. cygnea* (см. рис. 4) можно заметить выделяющиеся циклы: титр спустя час повышался, затем спустя три часа понижался, а через 6 и 24 ч сохранялась такая же динамика. На втором графике эта особенность выражена не так ярко: спустя час титр фага возрастал, затем спустя три часа падал, но далее только немного вырос к концу опыта.

В случае кормления разбавленной культурой *Ch. vulgaris* моллюски проявляли большую активность; фазы были более отчетливыми, и моллюск всасывал и выбрасывал большие количества воды.

В 2020 г. было опубликовано первое подобное исследование в данной области [10]. При сравнении можно заметить определенные сходства: благодаря естественной микрофлоре моллюска, где находилась *E. coli*, происходило размножение фага. Также наблюдались циклы, когда титр фагов попеременно возрастал и падал с течением времени. Однако между проведенными исследованиями мы также выявили определенные различия. Например, титр фагов увеличивался спустя более продолжительное время после начала эксперимента – от 3 до 24 ч. Повышение титра в первый час после начала опыта не наблюдалось. Хотя циклы прослеживались, они не были так ярко выражены, как в предыдущем исследовании.

Заключение

Эксперименты по аккумуляции фагов двустворчатыми моллюсками показали, что изменения в титре бактериофагов связаны с фильтрационным типом питания моллюска и, возможно, с наличием в его микрофлоре бактерий *E. coli*. Несмотря на сходство результатов экспериментов, циркуляция фагов в моллюске и окружающей среде может различаться в зависимости от конкретного животного из-за уникальной микрофлоры каждого моллюска. Можно наблюдать схожую цикличность изменения титра фагов во времени с чередующимися периодами снижения и увеличения титра вируса. Можно сделать вывод, что механизм биоаккумуляции фагов у различных двустворчатых моллюсков имеет сходные особенности. Хотя можно отметить более частые колебания титра фага при биоаккумуляции трансдуцирующего бактериофага RB43 *A. cygnea*, что может быть связано и с меньшим молекулярным потенциалом связывания гликозидов внутренней слизи моллюска у этого фага по сравнению с нетрансдуцирующим бактериофагом Т4. Критичного влияния расположения и копийности белков адгезинов Нос фага Т4 и Wac RB43 на их биоаккумуляцию двустворчатыми моллюсками мы не обнаружили. Возможно, шести троек иммуноглобулинподобных доменов адсорбции на поверхности частицы фага в основном достаточно для участия в процессе биоаккумуляции.

В контроле, где в стерильную воду из аквариума добавлялся фаг, титр несильно изменялся, но падал к концу эксперимента. Возможно, фаг сорбируется на стенках стакана спустя 24 ч, что коррелирует с результатами опытов

с моллюсками. На активность моллюска влияет особенность кормления: в случае кормления разбавленной культурой *Ch. vulgaris* моллюски проявляли большую активность; фазы были более отчетливыми, и моллюск всасывал и выбрасывал большие количества воды.

Список литературы / References

- [1] Bogomolni A, Gast R, Ellis J, Dennett M, Pugliares K, Lentell B, Moore MJ. Victims or vectors: a survey of marine vertebrate zoonoses from coastal waters of the Northwest Atlantic. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2008;81:13–38. <http://dx.doi.org/10.3354/dao01936>
- [2] Colford JM, Wade TJ, Schiff KC, Wright CC, Griffith JF, Sandhu SK, Burns S, Sobsey M, Lovelace G, Weisberg S. Water Quality Indicators and the Risk of Illness at Beaches with Nonpoint Sources of Fecal Contamination. *Epidemiology*. 2007;18(1):27–35. <http://dx.doi.org/10.1097/01.ede.0000249425.32990.b9>
- [3] Magalhães R, Mena C, Ferreira V, Silva J, Almeida G, Gibbs P, Teixeira P. Bacteria: *Listeria monocytogenes*. *Encyclopedia of Food Safety*. 2014;450–461. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-378612-8.00101-3>
- [4] Fortier LC, Sekulovic O. Importance of prophages to evolution and virulence of bacterial pathogens. *Virulence*. 2013;4(5):354–65. <http://dx.doi.org/10.4161/viru.24498>
- [5] Linnæus C. *Systema naturae per regna tria naturae: secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus I. Editio decima, reformata*. Salvius, Stockholm. 1758. (In Latin) <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.542>
- [6] Geitler L. Morphologie, Entwicklungsgeschichte und Systematik neuer bemerkenswerter atmophytischer Algen aus Wien. *Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung*. 1942;136(1):1–29. [http://dx.doi.org/10.1016/s0367-1615\(17\)31209-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0367-1615(17)31209-0)
- [7] Tanyashin VI, Zimin AA, Shlyapnikov MG, Boronin AM. Transduction of plasmid antibiotic resistance determinants with pseudoT-Even bacteriophages. *Russian Journal of Genetics*. 2003;39(7):761–772. <https://doi.org/10.1023/A:1024748903232> EDN: LHQIOX
- [8] Tanyashin VI, Zimin AA, Boronin AM. The Cotransduction of pET System Plasmids by Mutants of T4 and RB43 Bacteriophages. *Microbiology*. 2003;72(6):694–700. <https://doi.org/10.1023/B:MICI.0000008372.06477.43> EDN: LHXWPL
- [9] Zimin AA, Mikoulskaia GV, Nigmatullina LF, Nazipova NN. Comparative Analysis of Individual Domains of Hoc Proteins in Subfamily Teequatrovirinae Bacteriophages. *Mathematical Biology and Bioinformatics*. 2012. Nov 26;7(2):611–31. <http://dx.doi.org/10.17537/2012.7.611> EDN: PNBULT
- [10] Karmanova AN, Zimin AA. Experimental model for study bacteriophage bioaccumulation by a bivalve *Unio pictorium* (L.1758). *Journal of Physics: Conference Series*. 2020 Nov 1;1701(1):012012. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1701/1/012012> EDN: EHNZSR

Сведения об авторах:

Булавина Мария Константиновна, магистр, 1-ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, пр-кт Науки, д. 5. E-mail: ruffusramone@yandex.ru

Абашина Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории цитологии микроорганизмов 1-ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов

им. Г.К. Скрыбина РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, пр-кт Науки, д. 5. ORCID: 0000-0003-4539-5192; eLIBRARY SPIN-код: 7256-8053. E-mail: ttabashina@gmail.com

Сузина Наталья Егоровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории цитологии микроорганизмов 1-ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, пр-кт Науки, д. 5. ORCID: 0000-0002-4960-1910; eLIBRARY SPIN-код: 7986-9434. E-mail: Suzina_Nataliya@rambler.ru

Политцева Валентина Николаевна, кандидат биологических наук старший научный сотрудник лаборатории цитологии микроорганизмов 1-ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, пр-кт Науки, д. 5. ORCID: 0000-0001-6960-3967; eLIBRARY SPIN-код: 9629-0020. E-mail: v.politseva@pbcra.ru

Зимин Андрей Антонович, кандидат биологических наук ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии, 1-ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, пр-кт Науки, д. 5. ORCID: 0000-0003-0578-9963; eLIBRARY SPIN-код: 3598-9078. E-mail: dr.zimin8@yandex.ru

Bio notes:

Maria K. Bulavina, engineer, 1 Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms Russian Academy of Sciences (IBPM RAS), 5 Avenue Nauki, 142290, Moscow region, Pushchino, Russian Federation. E-mail: ruffusramone@yandex.ru

Tatiana N. Abashina, PhD (Biology), Senior Research Associate, 1 Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms Russian Academy of Sciences (IBPM RAS), 5 Avenue Nauki, 142290, Moscow region, Pushchino, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4539-5192; eLIBRARY SPIN-code: 7256-8053. E-mail: ttabashina@gmail.com

Nataliya E. Suzina, PhD (Biology), Leading Researcher, 1 Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms Russian Academy of Sciences (IBPM RAS), 5 Avenue Nauki, 142290, Moscow region, Pushchino, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4960-1910; eLIBRARY SPIN-code: 7986-9434. E-mail: Suzina_Nataliya@rambler.ru

Valentina N. Politseva, PhD (Biology), Senior Researcher, 1 Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms Russian Academy of Sciences (IBPM RAS), 5 Avenue Nauki, 142290, Moscow region, Pushchino, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6960-3967; eLIBRARY SPIN-code: 9629-0020. E-mail: v.politseva@pbcra.ru

Andrei A. Zimin, PhD (Biology), Leading Researcher, 1 Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms Russian Academy of Sciences (IBPM RAS), 5 Avenue Nauki, 142290, Moscow region, Pushchino, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0578-9963; eLIBRARY SPIN-code: 3598-9078. E-mail: dr.zimin8@yandex.ru