УДК 578.4(262.5) DOI: 10.33075/2220-5861-2020-3-139-148

МОНИТОРИНГ ЧЕРНОМОРСКИХ АЛЬГОВИРУСОВ *TETRASELMIS VIRIDIS* И *PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM* В БУХТАХ СЕВАСТОПОЛЯ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ИЗУЧАЕМЫХ АКВАТОРИЙ

О.А. Степанова

Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: solar-ua@ya.ru

Выполненный анализ результатов многолетнего мониторинга (2002–2020 гг.) альговирусов индикаторных к условиям среды микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Phaeodactylum tricornutum* в различающихся по экологическому благополучию трех бухтах Севастополя выявил, что частота изоляции этих альговирусов может служить для оценки экологического благополучия изучаемых акваторий. В связи с этим, мониторинг альговирусов микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Phaeodactylum tricornutum* предложено использовать как составляющую комплексного экомониторинга изучаемых акваторий в качестве экологического индикатора.
Ключевые слова: мониторинг, альговирусы, микроводоросли *Tetraselmis viridis* и *Phaeodactylum tricornutum*, бухты Севастополя, Черное море.

Поступила в редакцию: 17.06.2020.

Введение. Мониторинг вирусов – широко распространенное слежение за фоновой циркуляцией патогенных для флоры и фауны нашей Планеты вирусов, выполняемое путем изучения полевых проб и материалов от здоровых и больных организмов.

Естественно, что первостепенное значение по понятным причинам и в силу заинтересованности службы здравоохранения, имеют мониторинговые работы в направлении слежения за циркуляцией патогенных вирусов людей. В печати представлены обзоры современных систем мониторинга вирусных инфекций, описано широкое применение генетических и биологических методов для раннего обнаружения вирусов и оценки их патогенного потенциала, указана необходимость обязательного использования биоинформационного анализа и геоинформационных технологий [1]. С учетом последних достижений биохимии, биологии и биоинженерии в настоящее время возможно создание эколого-эпидемиологической системы упреждающего мониторинга вирусных инфекций, который предоставлял бы углубленную прогностическую информацию об эволюционных трендах в вирусных популяциях, о пространственно-временном направлении вирусных миграций, о выявлении новых ранее неизвестных вирусов и их потенциальной опасности для человека. Актуальность такой эколого-эпидемиологической системы упреждающего мониторинга вирусных инфекций получила свое подтверждение в настоящее время – в период пандемии коронавируса COVID-19.

Таким образом, в области общей и частной вирусологии, которой около 120 лет, по логике и понятным причинам наибольшее развитие получили методы исследования, в т.ч. и мониторинга, патогенных вирусов, инфицирующих в основном людей, а также вирусов животных и растений, связанных с хозяйственной деятельностью человека [2, 3]. Проводимый мониторинг патогенных вирусов позволяет своевременно принимать соответствующие меры, и в первую очередь профилактические, вплоть до карантина.

Новое научное направление в вирусологии, как и в гидробиологии (раздел морской микробиологии) – морская (водная) вирусология, которое получило толчок к своему бурному развитию лишь

во второй половине 20 века, также использует основы общей и частной вирусологии в целях изучения биологии и экологии морских (водных) вирусов, в том числе и в мониторинге. Эта новая наука имеет непосредственную связь с химией и физикой моря, а также с другими научными дисциплинами (генетика, эпидемиология, альгология и прочие разделы биологии и медицины). Хотя морские (водные) вирусы уже определены как основные игроки в экологии нашей Планеты, ученые подчеркивают о еще недостаточности знаний и представлений о вирусной составляющей гидросферы и о процессах, возникающих при контакте вирус-хозяин, как и при вирусном лизисе в жидкой среде их обитания с учетом влияния биотических и абиотических факторов [4–9]. При этом особого внимания заслуживает факт выявления роли морских вирусов – альговирусов – в патологии организмов суши, в т.ч. и человека [10–12]. Таким образом, мониторинг альговирусов может являться ценным первичным материалом для расшифровки возможной биологической угрозы для флоры и фауны суши, и в первую очередь для человека.

Мониторинг альговирусов, основанный на молекулярных методиках, является перспективным в плане изучения их экологии, что является и отражением экологии хозяев вирусов – представителей фитопланктона [13]. По мнению ученых, такой способ с использованием молекулярных методик дает новое понимание динамики количественных и качественных изменений вирусов и водорослей – их хозяев, а также закладывает основу для будущих исследований разнообразия альговирусов и их временной динамики. Однако по выполнению такой способ представляется сложным и дорогостоящим мероприятием.

Публикаций, связанных с многолетним мониторингом морских вирусов, в частности альговирусов, обнаружено не было. Также не была выявлена информация о поиске и изоляции альговирусов из Черного моря учеными из стран причерноморского региона. Таким образом, исследования по изоляции новых для науки черноморских альговирусов и их мониторингу, полученные при этом результаты, а также их оценка и анализ представляют научную новизну, как в теоретическом, так и в практическом плане.

Мониторинг альговирусов, по нашему мнению, логично рассматривать и как часть экологического мониторинга, по определению являющегося информационной системой наблюдений, с оценкой и прогнозом состояния окружающей среды, поскольку альговирусы – биоиндикаторы микроводорослей, которые, в свою очередь, являются индикаторными микроорганизмами при оценке качества окружающей среды [14–16].

При мониторинге черноморских альговирусов в качестве составляющей экомониторига, альговирусы учитывались как биоиндикаторы двух видов микроводорослей – *Phaeodactylum tricornutum* и *Tetraselmis viridis*. Эти два вида микроводорослей широко и круглогодично распространены в Черном море [17]. Причем *P. tricornutum,* как требовательная к условиям окружающей среды микроводоросль, часто применяется в качестве тест-объекта при оценке токсичности сточных вод или химических веществ [18–21], в то время, как микроводоросль *T. viridis* обладает высокой устойчивостью к различным поллютантам, и концентрация клеток этой водоросли в воде в присутствии ряда загрязнителей даже увеличивается [22, 23].

Следовательно, изоляция альговирусов этих двух видов индикаторных к условиям среды и экологической ситуации микроводорослей несет информацию о благополучии изучаемых акваторий. Поэтому мониторинг альговирусов микроводорослей *T. viridis* и *P. tricornutum* нами было предложено использовать как составляющую комплексного экомониторинга бухт Севастополя.

Цель представляемого сообщения – расширенный анализ и оценка результатов многолетнего (2002–2020 гг.) мониторинга альговирусов микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Phaeodactylum*

tricornutum в различающихся по экологическому благополучию бухтах Севастополя.

Материалы и методы. Поиск и изоляцию альговирусов микроводорослей *T. viridis* (TvV) и *P. tricornutum* (PtV) проводили с мая 2002 г. по март 2020 г. из проб морской воды, отбираемой в основном из трех различающихся по экологическому благополучию бухт Севастополя с использованием запатентованных авторских способов [24, 25]. Бухты Севастополя были обозначены:

1. открытая, относительно экологически благополучная бухта № 1;
2. закрытая, с функционирующей мидийной фермой, относительно экологически благополучная бухта № 2;
3. закрытая, подвергающаяся антропогенному воздействию, экологически неблагополучная бухта № 3.

Отбор проб морской воды выполнялся с 2002 г. по 2020 г. с разной регулярностью от 3–5 до 10–12 раз в году, но не чаще 1 раза в месяц. Однако в 2004, 2013 и 2014 гг. тестирование проб морской воды на искомые вирусы не проводили, т.к. в эти годы выполнялись поиск, изоляция и изучение других новых для науки или экосистемы Черного моря альговирусов [26].

Жидкие альгологически чистые культуры используемых для изоляции альговирусов индикаторных культур микроводорослей *T. viridis* и *P. tricornutum* были получены из коллекции живых культур микроводорослей отдела экологической физиологии водорослей Федерального исследовательского центра “Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН” (ФИЦ ИнБЮМ).

В ходе исследований, связанных с изучением экологии и мониторингом альговирусов, возникла потребность в создании некоторых терминов, удобных при оценке и анализе результатов, получаемых при поиске и изоляции альговирусов, что отражено в авторских работах [26, 27]. Так было создано и предложено понятие «частота изоляции» альговирусов (синоним – «процент изоляции» альговирусов») из изучаемых проб за определенный промежуток времени (месяц, сезон, год, несколько лет). Частоту изоляции (процент изоляции) альговирусов определяли в процентах по отношению к числу изученных проб за определенный временной период.

Результаты и обсуждение. Сведения о результатах изоляции альговирусов индикаторных к экологическому благополучию среды обитания микроводорослей *T. viridis* и *P. tricornutum* из проб воды, отбиравшихся относительно регулярно из трех отличающихся по экологическому благополучию бухт Севастополя (№1, №2, №3), отражены в сводной табл. 1, а также представлены в виде графиков и диаграмм на рис. 1.

Результаты в табл. 1 представлены как в абсолютных цифровых значениях – количество проб, число вирусных изолятов, так и в значениях частоты изоляции (процента изоляции). Также в табл. 1 в последнем столбике можно наблюдать разницу между значениями частоты изоляции двух альговирусов – TvV и PtV и наоборот PtV и TvV. На графиках и диаграммах рис. 1 информация о результатах проводимого мониторинга альговирусов TvV и PtV отражена в их частоте изоляции в изучаемые годы.

Из данных, представленных в табл. 1, можно видеть, что частота изоляции (процент изоляции) альговируса устойчивой к экологическим факторам микроводоросли *T. viridis* изменялась от 52–54% (2002–2003 и 2015 гг.) до 0–3% (2007–2009 гг.). Для альговируса требовательной к условиям среды микроводоросли *P. tricornutum* частота изоляции колебалась от 44% (2018 г) – 45% (2008 г.) и 89% (2020 г.) до 0% (2015 г.). При этом различие частоты изоляции 30% и выше между TvV и PtV наблюдалось в 2002–2003 гг. (31%), 2006 г. (33%) и в 2015 г. (52%). И, наоборот, между PtV и TvV такая разница в частоте изоляции (30% и выше) наблюдалась в 2008 г. (42%), 2017 г. (30%), в 2018 г. (33%) и в 2020 г. (59%). Логично предположить, что полученная картина изоляции альговирусов отражает положение с распределением их хозяев – индикаторных по отношению к окружающей среде

микроводорослей *T. viridis* и *P. tricornutum.*

Особый интерес представляет ситуация 2020 г., когда при отборе проб лишь в первые три месяца, поскольку дальнейшие события карантина по COVID-19 требовали самоизоляции и работы в дистанционном режиме, было выявлено, что частота изоляции альговируса микроводоросли *P. tricornutum* достигла максимума за все изучаемые годы мониторинга. Какова связь между карантинными мероприятиями и повышением частоты изоляции альговируса требовательной к условиям среды микроводоросли *P. tricornutum*? Вероятно, что самоизоляция населения г. Севастополя привела к улучшению экологической ситуации в бухтах города. Нельзя не учитывать и факт теплой и бесснежной зимы как в 2019 г., так и в 2020 г., что способствовало сдвигу весенней сезонности альговирусов в сторону зимне-весенней сезонности. К сожалению, судить о циркуляции, распределении и распространении альговирусов индикаторных микроводорослей *T. viridis* и *P. tricornutum* в 2020 г. приходится лишь по зимнему (январь и февраль) и раннему весеннему (март) сезону.

Как можно видеть из данных, отраженных в табл. 1, всего из 305 проб морской воды было изолировано 132 альговируса, из которых 54 штамма (варианта) альговируса микроводоросли *T. viridis* и 78 штаммов альговируса микроводоросли *P. tricornutum.*

Таблица 1. Результаты поиска и изоляции альговирусов *Tetraselmis viridis* (TvV) и *Phaeodactylum tricornutum* (PtV) из проб морской воды трех бухт Севастополя, различающихся по экологическому благополучию, в период с мая 2002 по март 2020 гг.

Временные периоды (годы)	Количество проб и выделенных альговирусов, % изоляции			
	Количество проб воды	Число изолятов TvV/PtV	% изоляции из проб TvV/PtV	Разница частоты изоляции в %
1	2	3	4	5
2002-2003	13	7/3	54%/23%	31%
2005	23	4/5	17%/22%	5%
2006	9	4/1	44%/11%	33%
2007	14	-/2	0%/14%	14%
2008	31	1/14	3%/45%	42%
2009	30	1/4	3%/13%	10%
2010	22	2/3	9%/14%	5%
2011	15	1/2	7%/13%	5%
2012	21	2/5	10%/24%	14%
2015	25	13/-	52%/0%	52%
2016	21	8/3	38%/14%	24%
2017	30	3/11	11%/41%	30%
2018	27	2/12	11%/44%	33%
2019	15	3/5	30%/33%	3%
2020	9	3/8	30%/89%	59%
Итого	305	54/78	18%/26%	8%

Примечание: « - » отрицательный результат поиска и изоляции альговирусов.

Рис. 1 (А); Fig. 1 (A)

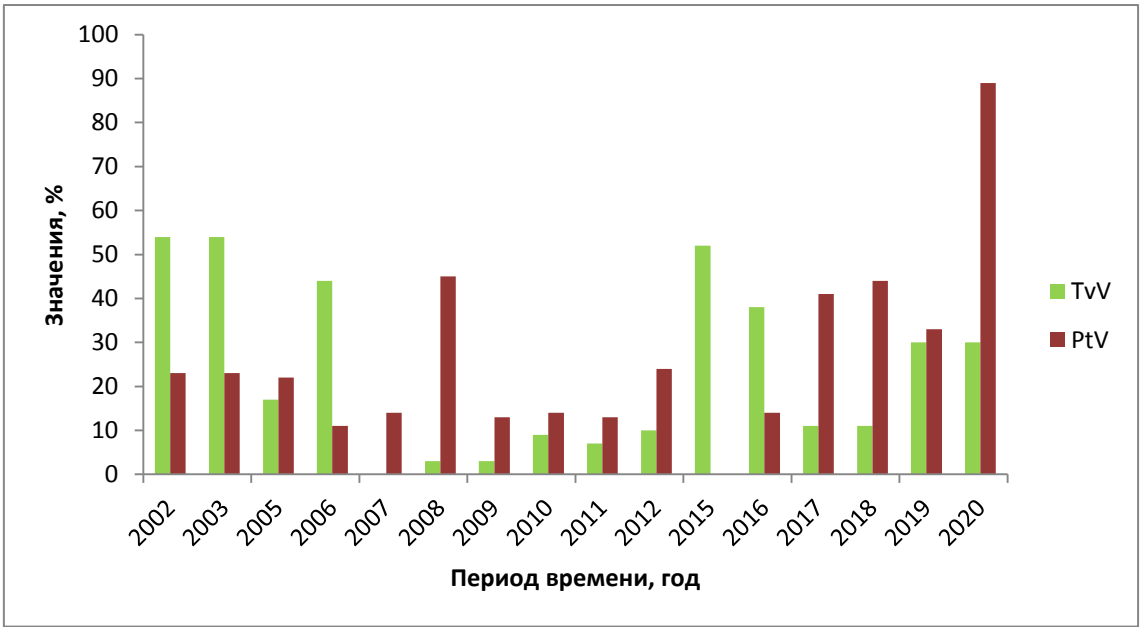

Рис. 1 (Б); Fig. 1 (B)

Рис.1. Изменения частоты (%) изоляции альговирусов микроводорослей *Tetraselmis viridis* (TvV) и *Phaeodactylum tricornutum* (PtV) из проб морской воды трех, отличающихся по экологическому благополучию бухт Севастополя (№ 1, № 2, № 3) в период с мая 2002 по март 2020 гг. в виде графиков (А) и диаграмм (Б)

Fig. 1. Changes in the frequency (%) of isolation of algal viruses of the microalgae *Tetraselmis viridis* (TvV) and *Phaeodactylum tricornutum* (PtV) from seawater samples from three differing in the ecological well-being of Sevastopol bays (No. 1, No. 2, No. 3) from May 2002 to March 2020 as graphs (A) and diagrams (B)

Таким образом, в среднем за весь изучаемый период (2002–2020 гг.) частота изоляции для TvV составляла 18%, а для PtV – 26%. Полученные усредненные показатели имеют незначительные различия (8%) и свидетельствуют о необходимости регулярного мониторинга альговирусов, хозяевами которых являются индикаторные в отношении экологической ситуации микроводоросли. При этом усредненные данные могут служить в качестве фоновых показателей. Таким образом, выявляемые в ходе мониторинга изменения в частоте изоляции альговирусов *T. viridis* и *P. tricornutum* по сравнению с усредненными (фоновыми) показателями будут сигналить и об изменениях экологической ситуации в изучаемых бухтах. Иными словами, снижение частоты изоляции альговируса требовательной к условиям среды обитания микроводоросли *P. tricornutum* будет свидетельствовать об ухудшении экологической ситуации, а повышение – об улучшении экологического статуса в изучаемых акваториях.

На графиках (А) и диаграммах (Б), представленных на рис. 1, можно видеть значительные различия в частоте изоляции альговирусов. Так на графических линиях можно наблюдать различия в виде «ножниц» в 2002–2003, 2006, 2008, 2015, 2018 и 2020 гг., когда повышение частоты изоляции PtV относительно TvV (в 2008, 2018 и 2020 гг.) свидетельствует об экологическом благополучии. Повышение частоты изоляции TvV относительно PtV (в 2002–2003, 2006 и 2015 гг.) сигналит об ухудшении экологического статуса изучаемых акваторий.

Наиболее значительное отличие в частоте изоляции альговируса микроводоросли *P. tricornutum* относительно альговируса микроводоросли *T. viridis* можно наблюдать в 2008, 2018 и 2020 гг., когда разница составляет 42%, 33% и 59% соответственно (табл. 1, рис. 1). Логично предположить, что в обозначенные годы в акваториях изучаемых бухт Севастополя, т.е. в акватории побережья Севастополя, экологическая ситуация была относительно благополучна. Считаем логичным и вполне приемлемым это относительное благополучие в обозначенные годы экстраполировать и на побережье полуострова Крым.

С 2002 по 2014 гг. поиск альговирусов из черноморской среды выполнялся на базе ИнБЮМ (ныне ФИЦ ИнБЮМ). С 2015 г. работы в этом направлении продолжаются в Институте природно-технических систем. В т.ч. с 2015 г. и по настоящее время ведется мониторинг черноморских альговирусов индикаторных по отношению к экологической ситуации микроводорослей *T. viridis* и *P. tricornutum* в различающихся по экологическому благополучию бухтах Севастополя. С целью установления оценочных показателей экологического благополучия изучаемых акваторий (бухта № 1, № 2 и № 3) в период 2015–2020 гг. был проведен анализ результатов изоляции штаммов альговирусов устойчивой к факторам среды микроводоросли *T. viridis* и требовательной микроводоросли *P. tricornutum.* Полученные при этом данные с учетом сезонного фактора отражены в табл. 2. Отбор и тестирование проб морской воды проводили во все сезоны, однако в летний период, а особенно в июле и августе, работы останавливали в связи со сложностью культивирования индикаторных микроводорослей *T. viridis* и *P. tricornutum* в эти месяцы. Поскольку для обозначенных микроводорослей известна весенне-осенняя сезонность [17], то такая же сезонность со сдвигом на 1–2 недели вероятна и для альговирусов этих микроводорослей [28]. Логично, что в летнее время поиск и изоляция альговирусов микроводорослей *T. viridis* (TvV) и *P.tricornutum* (PtV) будут завершаться отрицательными результатами, что и отражено в табл. 2 по результатам за июнь и июль.

Так за анализируемый период 2015–2020 гг. всего из трех бухт, отличающихся по экологическому благополучию, было изолировано свыше 70 штаммов альговирусов к двум видам микроводорослей *T. viridis* и *P.tricornutum*, из них 32 TvV и 39 PtV.

При этом наблюдали сезонные пики изоляции альговирусов в феврале–марте

Таблица 4. Изоляция в 2015–2020 гг. альговирусов двух микроводорослей - устойчивой к факторам среды *Tetraselmis viridis* (TvV) и требовательной *Phaeodactylum tricornutum* (PtV) из трех бухт Севастополя, отличающихся по экологическому благополучию

Бухта		Изоляция альговирусов TvV/PtV в период с I по XII, на протяжении 2015–2020 гг.												Всего
	год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
№ 1	2015	-/-	1/-	1/-	1/-	1/-	-/-	ни	ни	ни	1/-	1/-	-/-	6/-
	2016	ни	-/-	1/-	1/-	-/-	-/-	ни	ни	1/1	1/-	ни	ни	4/1
	2017	-/-	-/1	1/1	-/-	-/-	-/-	-/-	ни	-/1	1/1	-/-	ни	2/4
	2018	1/1	-/-	-/1	-/1	-/1	-/-	ни	ни	1/1	-/-	-/-	ни	2/5
	2019	-/1	1/-	-/-	-/-	-/-	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	1/1
	2020	-/1	1/1	-/1	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	1/3
всего		1/3	3/2	3/3	2/1	1/1	-/-	-/-	ни	2/3	3/1	1/-	-/-	16/14
		4	5	6	3	2	-	-	ни	5	4	1	-	30
№ 2	2015	1/-	1/-	-/-	-/-	-/-	-/-	ни	ни	ни	1/-	1/-	-/-	4/-
	2016	ни	-/-	-/-	-/1	-/-	-/-	ни	ни	-/1	1/-	ни	ни	1/2
	2017	1/-	-/1	-/1	-/-	-/-	-/-	-/-	ни	-/1	-/1	-/1	ни	1/5
	2018	-/-	-/-	-/1	-/1	-/-	-/-	ни	ни	-/-	-/1	-/1	ни	-/4
	2019	-/1	-/ 1	-/1	-/-	1/1	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	1/4
	2020	-/1	1/1	1/1	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	2/3
всего		2/2	2/3	1/4	-/2	1/1	-/-	-/-	ни	-/2	2/2	1/2	-/-	9/18
		4	5	5	2	2	-	-	ни	2	4	3	-	27
№ 3	2015	ни	ни	-/-	1/-	-/-	-/-	ни	ни	ни	1/-	1/-	-/-	3/-
	2016	ни	-/-	-/-	1/-	-/-	-/-	ни	ни	1/-	1/-	ни	ни	3/-
	2017	-/-	-/1	-/-	-/-	-/-	-/-	ни	ни	-/1	-/-	-/-	ни	-/2
	2018	-/1	-/-	-/1	-/-	-/-	-/-	ни	ни	-/1	-/-	-/-	ни	-/3
	2019	-/-	1/-	-/-	-/-	-/-	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	1/-
	2020	-/1	-/1	-/-	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	ни	-/2
всего		-/2	1/2	-/1	2/-	-/-	-/-	-/-	ни	1/2	2/-	1/-	-/-	7/7
		2	3	1	2	-	-	-	ни	3	2	1	-	14
За период 2015–2020 гг.		3/7	6/7	4/8	4/3	2/2	-/-	-/-	ни	3/7	7/3	3/2	-/-	32/39
		10	13	12	7	4	-	-	ни	10	10	5	-	71

Примечание: « - » отрицательный результат поиска и изоляции альговирусов; «ни» – не исследовали.

(12–13 штаммов за месяц) и в сентябре–октябре (до 10 штаммов), что соответствует сезонным пикам их хозяев в Черном море.

Максимальное количество вирусных штаммов было выделено из открытой, относительно экологически благополучной бухты № 1 – 30 (42,3% от общего числа – 71), из них 16 TvV и 14 PtV. Из закрытой, экологически неблагополучной бухты № 3 было изолировано минимальное количество штаммов – 14 (19,7%), из них 7 TvV и 7 PtV. Из закрытой, относительно экологически благополучной бухты, где функционирует мидийная ферма, способствующая очистке морской воды [27], было выделено 9 TvV и 18 PtV, всего 27 (38%). Таким образом, можно отметить, что максимальное количество вирусных штаммов – 57 (80,3%) было изолировано из бухт, отличающихся относительным экологическим благополучием (30 и 27 штаммов альговирусов). Причем из проб воды этих относительно экологически благополучных бухт было выделено 32 (14 и 18) штамма из всех 39 штаммов альговируса требовательной к условиям среды микроводоросли *P. tricornutum,* что составляет около 82% (36% и 46% соответственно из бухты № 1 и № 2).

При минимальном количестве всех вирусных изолятов из неблагополучной бухты № 3, число изолятов альговируса требовательной к условиям среды микроводоросли *P. tricornutum* было 7 (21,2%) из всех 39 изолированных из трех бухт вариантов PtV.

Анализ полученных данных свидетельствует, что для изучаемых относительно экологически благополучных бухт характерно максимальное количество всех изолятов альговирусов (как TvV, так и PtV) и численное преобладание штаммов альговируса требовательной к условиям среды микроводоросли *P. tricornutum* по сравнению с этими же показателями в экологически неблагополучной, подвергающейся антропогенной нагрузке бухте в г. Севастополе.

Таким образом, анализ результатов многолетнего мониторинга альговирусов двух индикаторных к экологическому благополучию микроводорослей *T. viridis* и *P.tricornutum* и оценка их распределения в различающихся по экологическому благополучию трех бухтах дали основание предложить использование мониторинга альговирусов как составляющую комплексного экомониторинга изучаемых акваторий в качестве экологического индикатора.

Заключение и выводы. Результаты, полученные в ходе многолетнего мониторинга (2002–2020 гг.) черноморских альговирусов, с учетом требовательности или устойчивости к условиям среды обитания их хозяев – микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Phaeodactylum tricornutum* – явились основанием для следующих выводов относительно экологического благополучия акваторий изучаемых бухт Севастополя:

– относительное экологическое благополучие в 2007–2008 гг., 2017–2018 гг. и в 2020 г. (максимум частоты изоляции PtV, и/или минимум TvV, и/или максимум разницы в частоте изоляции между PtV и TvV);

– экологическое неблагополучие в 2002–2003 гг., 2006 г. и в 2015 г. (максимум частоты изоляции TvV, и/или минимум PtV, и/или максимум разницы в частоте изоляции между TvV и PtV).

Анализ полученных за 2015–2020 гг. результатов мониторинга альговирусов двух индикаторных к экологической ситуации микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Phaeodactylum tricornutum* выявил, что для изучаемых относительно экологически благополучных бухт характерно:

– максимальное количество всех изолятов альговирусов (как TvV, так и PtV);

– численное преобладание штаммов альговируса требовательной к условиям среды микроводоросли *Phaeodactylum tricornutum.*

В экологически неблагополучной, подвергающейся антропогенной нагрузке бухте в г. Севастополе по сравнению с показателями в относительно благополучных бухтах отмечено как минимальное количество всех вирусных изолятов, так и минимальное количество штаммов альговируса требовательной к условиям среды

микроводоросли *Phaeodactylum tricornutum.*

Полученные и проанализированные результаты выполненного многолетнего (2002–2020 гг.) мониторинга черноморских альговирусов двух индикаторных к экологическим условиям микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Phaeodactylum tricornutum* установили возможность применения мониторинга морских вирусов, в частности альговирусов индикаторных к экологической ситуации микроводорослей, как составляющую комплексного экомониторинга в качестве экологического индикатора.

Работа выполнена в рамках государственного задания по госбюджетной теме ИПТС № 0012-2019-0003 "Разработка новых средств и измерительных информационных технологий исследований природных вод».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хаснатинов М.А., Данчинова Г.А.* Современные способы мониторинга вирусных патогенов и перспективы создания эколого-эпидемиологического мониторинга вирусов в окружающей среде // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2011. № 5 (81). С. 195–198.

2. *Жирнов О.П., Георгиев Г.П.* Д.И. Ивановский – первооткрыватель вирусов как новой формы биологической жизни // Вестник Российской академии медицинских наук. 2017. Т. 72. № 1. С. 84–86.

3. *Общая* вирусология: Руководство. / Под ред. В.М. Жданова, С.Я. Гайдамович. АМН СССР. М.: Медицина. 1982. 496 с.

4. *Лихошвай Е.В.* В каждой капле воды – вирусы // Наука из первых рук. 2016. Т. 70. № 4. С. 88–94.

5. *Lønborg C., Middelboe M., Brussaard C.* Viral lysis of *Micromonas pusilla*: impacts on dissolved organic matter production and composition // Biogeochemistry. 2013. Vol. 116. No 1–3. P. 231–240.

6. *Middelboe M., Brussaard C.* Marine Viruses: Key Players in Marine Ecosystems // Viruses. 2017. Vol. 9. No 10. P. 302–308.

7. *Suttle C.A.* Marine viruses – major players in the global ecosystem // Nature Reviews Microbiology. 2007. Vol. 5. No 10. P. 801–812.

8. *Viruses* of Eukaryotic Algae: Diversity, Methods for Detection, and Future Directions / S.R. Coy, E.R. Gann, H.L. Pound [et al.] // Viruses. 2018. Vol. 9. No 10. P. 487–514.

9. *Viruses of Microorganisms.* Edited by: Paul Hyman and Stephen T. Abedon Publisher: Caister Academic Press Book: 978-1-910190-85-2. USA. 2018. 374 p.

10. *Stepanova O.A., Solovyova Y.A., Solovyov A.V.* Results of Algae Viruses Search in Human Clinical Material // Ukrainica Bioorganica Acta. 2011. No 2. P. 53–56.

11. *Chlorovirus* ATCV-1 is part of the human oropharyngeal virome and is associated with changes in cognitive functions in humans and mice / R.H. Yolken, J.B. Lorraine, D. Dunigan [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014. Vol. 111. No 45. P. 16106–16111.

12. *Petro M.S., Agarkova I.V., Petro T.M.* Effect of Chlorovirus ATCV-1 infection on behavior of C57Bl/6 mice // Journal of Neuroimmunology. 2016. Vol. 297. P. 46–55.

13. *Seasonal* Dynamics of Algae-Infecting Viruses and Their Inferred Interactions with Protists / Gran-Stadniczenko, S.; Krabberod, A.K.; Sandaa, R.-A. [et al.] // Viruses. 2019. Vol. 11. No 11. P. 1043–1059.

14. *Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды: монография. Тель-Авив: Pilies Studio. 2006. 498 с.

15. *Бегун А.А.* Биоиндикация состояния морской среды по диатомовым водорослям эпифитона макрофитов (залив Петра Великого, Японское море) // Известия ТИНРО. 2012. Т. 169. С. 77–93.

16. *Водоросли* – индикаторы в оценке качества окружающей среды. Часть I. Баринова С.С. Методические аспекты анализа биологического разнообразия водорослей. Часть II. Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Экологические и географические характе-

ристики водорослей-индикаторов. М.: ВНИИприроды. 2000. 150 с.

17. *Микроводоросли* Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотенологического использования / Под. ред. Ю.Н. Токарева, З.З. Финенко, Н.В. Шадрина. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2008. 454 с.

18. *Дятлов С.У., Петросян А.Г. Phaeodactylum tricornutum* Bohl. (Chrysophyta) как тест-объект. Общие положения // Альгология. 2001. Т. 11. № 1. С.145–154.

19. *Маркина Ж.В., Айздайчер Н.А. Dunaliella salina* (Chlorophyta) как тест-объект для оценки загрязнения морской среды детергентами // Биология моря. 2005. Т. 31. № 4. С. 274–279.

20. *Маркина Ж.В., Айздайчер Н.А.* Содержание фотосинтетических пигментов, рост и размер клеток микроводоросли *Phaeodactylum tricornutum* при загрязнении среды медью // Физиология растений. 2006. Т. 5. № 3. С. 343–347.

21. *Маркина Ж.В., Айздайчер Н.А.* Применение микроводоросли *Phaeodactilum tricornutum* Bohlin (Bacillariophyta) для оценки качества вод залива Находка Японского моря (Россия) // Альгология. 2014. Т. 24. № 4. С. 551–559.

22. *Кузьминова Н.С.* Действие хозяйственно-бытовых сточных вод на некоторых представителей морских микроводорослей отдела *Chlorophyta* // Проблемы аквакультуры и функционирования водных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. (25–28 февраля 2002 г.). Киев. 2002. С. 157–158.

23. *Кузьминова Н.С., Руднева И.И.* Влияние сточных вод на морские водоросли // Альгология. 2006. Т. 15. № 1. С. 128–141.

24. *Степанова О.А.* Способ изоляции альговирусов одноклеточных водорослей, например *Platymonas viridis* Rouch (Chlorophita) // Патент Украины № 65864. 2004. Бюл. № 4.

25. *Степанова О.А.* Способ изоляции альговирусов микроводоросли *Phaeodactylum tricornutum* (Bacillariophyta) из проб морской воды // Патент Украины № 97293. 2012. Бюл. № 2.

26. *Stepanova O.A.* Black Sea algal viruses // Russian Journal of Marine Biology. 2016. Vol. 42. No. 2. P. 123–127.

27. *Stepanova O.A.* Interaction between Algal Viruses and the Mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (Bivalvia: Mytilidae) in Experiment // Russian Journal of Marine Biology. 2017. Vol. 43. No 2. P. 127–131.

28. *Wommack K.E., Colwell R.R.* Virioplankton: Viruses in aquatic ecosystems // Microbiol. Mol. Biol. Rev. 2000. Vol. 64. No 1. P. 69–114.

MONITORING OF BLACK SEA ALGAL VIRUSES *TETRASELMIS VIRIDIS* AND *PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM* IN BAYS OF SEVASTOPOL AS A COMPONENT OF ECOLOGICAL MONITORING OF THE STUDIED AQUATORIES

O.A. Stepanova

Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

An analysis of the results of a long-term monitoring (2002–2020) of algal viruses indicative of environmental conditions of microalgae *Tetraselmis viridis* and *Phaeodactylum tricornutum* in three bays of Sevastopol differing in ecological conditions revealed that the frequency of isolation of these algal viruses can be used to assess the ecological condition of the studied aquatories. In this regard, monitoring of algal viruses of microalgae *Tetraselmis viridis* and *Phaeodactylum tricornutum* is proposed to be used as a component of the integrated eco-monitoring of the studied aquatories as an environmental indicator.

Key words: monitoring, algal viruses, microalgae *Tetraselmis viridis* and *Phaeodactylum tricornutum*, bays of Sevastopol, Black Sea.