ПРОТОЗОЙНЫЙ ПЛАНКТОН НОВОРОССИЙСКОГО ПОРТА КАК КОМПОНЕНТ СООБЩЕСТВ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ АНТРОПОГЕННЫЙ СТРЕСС

Ж.П. Селифонова

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН
г. Мурманск 183 010, ул. Владимирская, 17
Россия
E-mail: Selifa@mail.ru

Рассмотрена структура и функционирование гетеротрофного бактерио-, нано-, микропланктона в загрязненных водах Новороссийского порта. Показано, что высокая гетеротрофная активность вод порта является реакцией этих групп планктона на стресс антропогенного воздействия.

Введение. Акватория Новороссийского порта – вершинная часть Цемесской бухты, имеющая сложную береговую линию и затрудненный водообмен с открытой частью бухты. Воздействие этого неблагоприятного фактора наряду с мощным береговым канализационным стоком и интенсификацией деятельности торгового порта способствуют эвтрофикации вод порта, значительному загрязнению донных осадков и, как следствие, трансформации экосистемы [11].

В Новороссийском порту гетеротрофные нанофлагелляты и инфузории впервые исследованы в 80-х годах XX века [4]. Последующее изучение их таксономического состава и межгодовых изменений обилия показало, что протозойный планктон является существенным компонентом экосистемы Цемесской бухты [9].

Цель настоящего исследования состоит в оценке современного уровня развития гетеротрофного нано- и микропланктона с тем, чтобы четко судить о возможных изменениях структуры простейших под воздействием хронического антропогенного загрязнения и их роли в трофодинамических процессах планктонных сообществ Новороссийского порта.

Материал и методы исследований. Пробы планктона в Новороссийском порту отбирали с мая по сентябрь 2007г. в экспедициях Мурманского морского биологического института КНЦ РАН на катере «Антарес». Схема станций отбора проб представлена на рисунке 1.

Гетеротрофный бактерио-, нано- и микропланктон учитывали в пробах из поверхностного слоя воды. Неконцентрированные пробы фиксировали глютаровым альдегидом до конечной концентрации 1%. Пробы обрабатывались методом эпифлюоресцентной микроскопии с применением флюорохрома акридинового оранжевого и примулина на черных ядерных фильтрах с диаметром пор 0,17-0,4 мкм [16, 17]. Часть материала была обработана в свежих пробах воды без предварительной концентрации и фиксации в камере типа пенал 5x10 см высотой 2,0 мм. Подсчет производился под бинокулярным микроскопом. Инфузории при подсчете отличались по размеру, форме, характеру движения и отсутствию хлоропластов. Более крупные инфузории учитывались в концентрате, полученном методом обратной фильтрации объемом 1,5 л. В каждой пробе просчитывали не менее 10 полей зрения. Виды определяли по [3, 18]. Биомассу бактериальных клеток, нано- и микропланктона определяли по среднему объему и численности в каждой размерной и систематической группе.

Автор выражает глубокую признательность ФГУ «Администрация морского порта Новороссийск» за проявленный интерес к исследованию и предоставленную возможность проведения экспедиций.

Результаты и их обсуждение. За период исследований в Новороссийском порту 25 видов простейших. В состав гетеротрофных нанофлагеллят входили жгутиконосцы из р. Kinetoplastida: *Bodo, Parabodo, Bodomorpha, Rhynchomonas*, Protomonadida: *Monas, Oicomonas*. Кинетопластиды с размером клеток 6-10 мкм были наиболее многочисленными в течение всего периода исследований. 80% суммарной численности гетеротрофных флагеллят находилось в составе детритных частиц. На большинстве станций встречались амебы.

Инфузории были представлены, главным образом, мелкими видами олиготрихид размером 15-50 мкм – р.*Strombidium, Srobilidium, Mesodinium,* сапробионтными

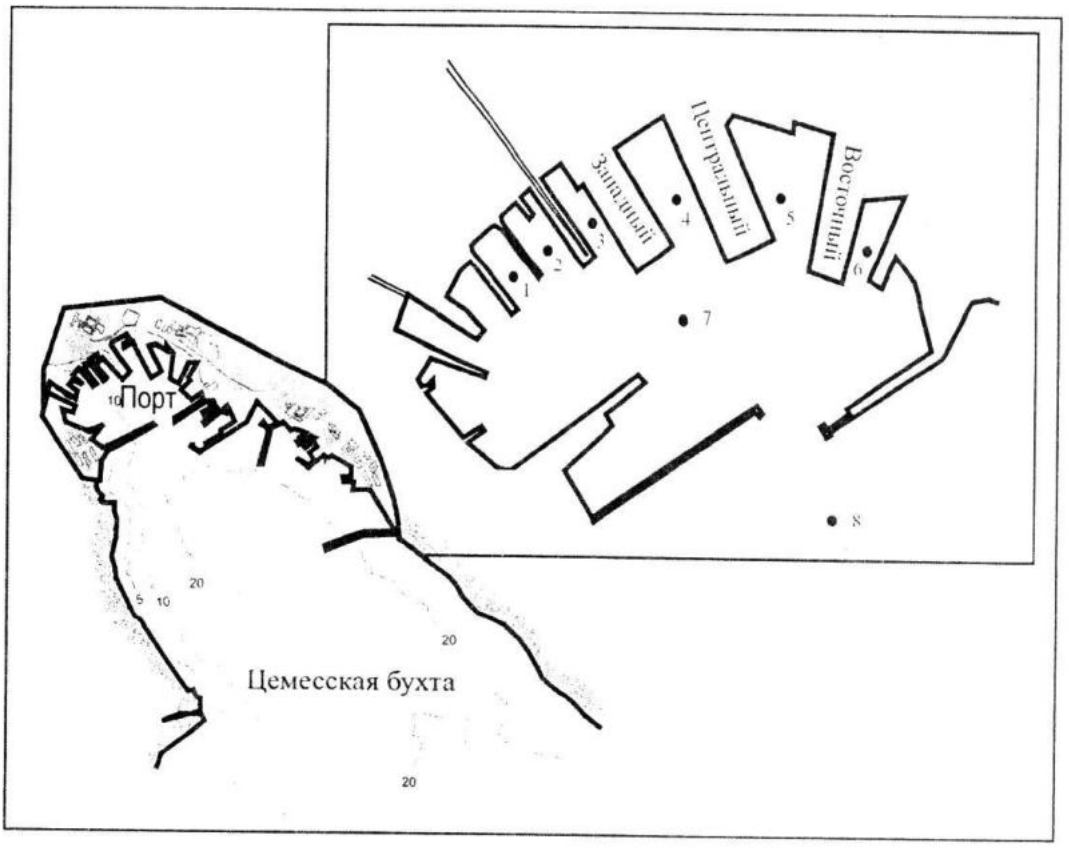

Рисунок 1 – Схема станций отбора проб планктона в Новороссийском порту

Loxodes sp., Urotricha и прочими неидентифицированными до вида нанопланктонными инфузориями. Более крупные стромбидиумы и раковинные инфузории-тинтинниды встречались значительно реже. В таксономическом отношении состав инфузорий в порту был значительно беднее. Однако их обилие в отдельные месяцы возрастало до концентраций свойственных эвтрофным водам (680-850 мг/м^3); на фоновом участке (462-587 мг/м^3) (табл. 1).

Сезонные изменения протозойного планктона хорошо согласуются с сезонными колебаниями гетеротрофного бактериопланктона. По [7] в прибрежной зоне Черного моря наблюдается два пика плотности бесцветных жгутиконосцев: в мае и сентябре. В наших исследованиях в конце мая биомасса гетеротрофного бактериопланктона в порту была низка и сравнима с биомассой зоофлагеллят и инфузорий (130-190 мг/м^3). Существенно низкие концентрации простейших, очевидно, связаны с появлением в планктоне значительного количества ветвистоусых раков, являющихся потребителями зоофлагеллят и их конкурентами за бактериальный корм [6]. В мае мы наблюдали необычайное развитие преимущественных детритофагов *Pleopis* ственных детритофагов *Pleopis polyphemoides* в количестве, в 30 раз превышающем обилие этих компонентов мезозоопланктона в весеннее-летний период в прежние годы (51 тыс экз/м^3 при биомассе 460 мг/м^3) [10]. Это обусловлено комплексом факторов, но ведущую роль, скорее всего, играет температура: ранний прогрев поверхностных вод (19°С), по сравнению с аналогичным периодом прошлого года (15,5°С). Напоминаем, что оптимальные температуры для развития зоофлагеллят 15-25°С [2]. Вспышка плотности ветвистоусых раков, по-видимому, обусловила снижение обилия бактериопланктона, микропланктона, в том числе коловраток-синхет [9].

Максимальные значения биомассы бактериопланктона приходятся на период лета (920 мг/м^3) начало осени (1730 мг/м^3), что связано с повышенными концентрациями органического вещества, образующего вследствие отмирания фитопланктона, оптимальной температуры воды и, что не менее важно, продуктов метаболизма гребневиков-мнемиопсисов.

Таблица 1 - Численность (*N*, экз/л), биомасса (*B*, мг/м^3) гетеротрофного бактерио-, нанопланктона и инфузорий в поверхностном слое воды Новороссийского порта в мае-сентябре 2007 г.

Станции	Дата	Температура воды, °С	Бактерии		Нанопланктон		Инфузории	
			$N\cdot10^9$	*B*	$N\cdot10^3$	*B*	$N\cdot10^3$	*B*
1	29.05.07	19.0	700	140.0	2150	137.2	32.0	128.0
2			850	170.0	2500	152.4	68.2	238.7
3			740	150.0	2010	120.6	66.1	264.4
4			1600	320.0	1960	162.4	44.8	76.8
5			1140	240.0	3500	159.5	70.4	156.8
6			800	160.0	3000	109.8	51.2	176.0
7			840	168.0	2500	125.0	14.4	72.0
8			650	158.0	1900	76.0	12.8	92.0
1	19.07.07	25.0	4200	840.0	1900	122.6	132.2	475.0
2			4800	960.0	1700	128.8	98.2	332.8
3			4500	900.0	1300	116.4	114.3	491.5
4			5000	1130.0	2700	150.2	162.0	1193.4
5			4990	1020.0	2500	135.6	166.4	1103.2
6			3800	760.0	1740	126.6	110.3	551.5
7			4800	960.0	1900	78.3	123.2	616.0
8			2000	560.0	1250	56.0	92.4	462.0
1	05.09.07	26.0	7200	1440.0	3800	212.8	98.6	543.0
2			6300	1260.0	4200	235.2	86.4	1296.0
3			7500	1500.0	3600	207.2	92.6	763.4
4			12600	2520.0	5500	285.0	180.5	1376.8
5			10500	2100.0	5700	341.0	120.6	804.6
6			9700	1940.0	3000	195.0	98.2	620.6
7			6700	1340.0	3200	194.4	90.0	536.4
8			2500	670.0	2500	155.0	52.6	587.0

По [15] в период пика плотности гребневиков за счет постоянного выделения слизи с поверхности тела создаются благоприятные условия для развития микрогетеротрофов, в первую очередь бактериального сообщества. В июле в акватории порта биомасса личинок и молоди гребневиков достигала 30 г/м^2 (на фоновой станции она была на порядок выше). Визуально в поверхностных слоях воды отмечалось большое количество взрослых особей. С июля до начала сентября происходило нарастание биомассы простейших. Пик в развитии зоофлагеллят (240 мг/м^3) и инфузорий (850 мг/м^3) отмечался в сентябре. Эти данные указывают на высокий уровень гетеротрофной активности вод акватории порта. Среди цилиатопланктона около 50% биомассы формировала симбионтная инфузория *Myrionecta rubra*. Образование плотных скоплений цилиат *M.rubra* определяется способом питания и высоким темпом деления, которые обуславливают преимущественное их развитие по сравнению с другими автотрофными организмами в загрязненных водах [1, 14]. На фоне высокой плотности протозойного планктона прослеживалось снижение биомассы мезозоопланктона до 100-200 мг/м^3. Следует отметить, что степень количественного развития этих организмов, в массе детритофагов, испытывающих хронический антропогенный стресс, определяется не только трофическими ресурсами, но и комплексом биотических взаимоотношений между различными компонентами пищевой сети, в том числе и наличием хищников.

Анализ полученных результатов показал, что состав и количественное развитие простейших хорошо отражает особенности гидрологических и гидрохимических условий Цемесской бухты, которая по фауне делится на два основных биогеографических района [10]. В портовом мелководном районе в условиях ограниченного водообмена создаются специфические условия для развития протозойного планктона. Здесь зарегистрирован довольно высокий уровень биомассы инфузорий (560 мг/м^3) и гетеротрофных нанофлагеллят (170 мг/м^3) что в среднем в 1,5-2 раза выше, чем за пределами порта.

Выявлены локальные участки, испытывающие сильное загрязнение бытовыми и техническими отходами. Максимальные концентрации бактериопланктона (1-2,5 г/м^3) и инфузорий (1-1,3 г/м^3) приурочены к станциям 4 и 5. Пищевые потребности этих групп организмов удовлетворяются, прежде всего, за счет нестойкого органического вещества. Наблюдавшееся постоянство в распределении скоплений простейших может быть связано с поступлением в портовую акваторию значительных количеств бытовых и промышленных стоков.

В условиях переизбытка пищи в портовой акватории, непосредственно подвергшейся антропогенному влиянию, в период наибольшего прогрева вод происходит наращивание микробных популяций до уровня гиперевтрофных вод (1,7 г/м^3). Согласно концепции функционирования водных экосистем микрогетеротрофы в загрязненных водах образуют трофическую «микробиальную пищевую цепь», способную существенно повышать эффективность планктонных пищевых цепей и, тем самым, осуществлять самоочищение вод [5, 8]. Микробная пищевая цепь, созданная бактериями при участии простейших, является основным фактором в ходе деструкции органического вещества [12]. Сообщество микрогетеротрофов поверхностных вод акватории порта пока справляется с автохтонной и аллохтонной нагрузкой (рис. 2), однако в придонных слоях, в зонах выпусков канализации, где на экосистему воздействуют бытовые и промышленные стоки, отмечены заморные явления [11]. Неоднородность грунтов обследованных участков порта по химическому составу отчетливо

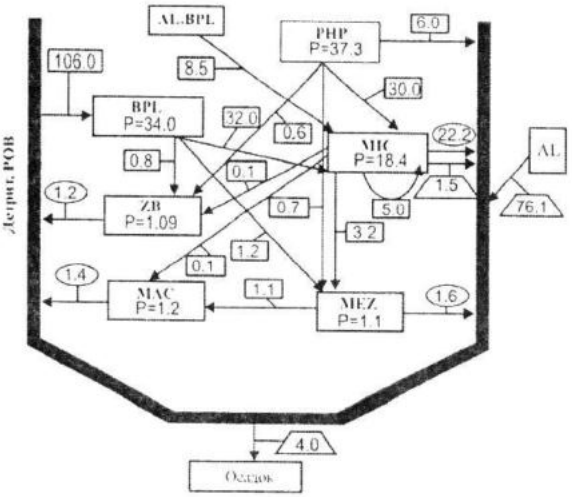

Рисунок 2 – Реконструкция схемы трофической цепи и суточных потоков энергии (кДж/м^2) между ее компонентами в Новороссийском порту (август, 2006)

Обозначения: PHP – фитопланктон, BPL – бактериопланктон, MIC – микрозоопланктон, MEZ – сетной мезозоопланктон, MAC – макрозоопланктон (гребневики), MB – макрозообентос, AL.BPL – аллохтонный сток бактериопланктона, POB – растворенное органическое вещество. Данные в квадратах – пищевые рационы компонентов пищевой цепи, данные в кружках – неусвоенная часть пищевых рационов, данные в трапециях – непотребленная продукция.

проявляется при анализе особенностей распределения концентраций лабильных сульфидов. Их наибольшее количество отмечено в донных осадках, подверженных интенсивному канализационному загрязнению (выпуски канализаций) – свыше 500 мгS/дм^3 сырого ила, а в ряде случаях достигает критических величин – 1100 мгS/дм^3 [10, 13]. Следовательно, в грунтах этих участков должна возрастать биомасса сульфатредуцирующих и метанобразующих бактерий.

Заключение. Во внутренней кутовой части Цемесской бухты образуется сравнительно небольшая гиперевтрофная зона, расширению которой в сторону моря препятствуют моловые сооружения, сгонно-нагонные явления и процессы самоочищения. Высокая гетеротрофная активность этой зоны, находящейся под воздействием хронического антропогенного стресса, поддерживается бактериями, простейшими и определяется сезоном года, высокой обеспеченностью экосистемы автохтонным и аллохтонным органическим веществом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э.Я. Бойкова. Простейшие – биомониторы морской среды. – Биология Балтийского моря. Рига: Зинатне, 1989. – 37 с.

2. Б.Ф. Жуков. К биологии пресноводных зоофлагеллят. – Антропогенные факторы в жизни водоема. Л.: Наука, 1975. – С. 139–149.

3. Б.Ф. Жуков. Атлас пресноводных гетеротрофных жгутиконосцев (биология, экология, систематика). Рыбинск: ИБВВ, 1993. – 160 с.

4. А.И. Копылов, А.Ф. Сажин. Гетеротрофный нано- и микропланктон в районах крупных морских портовых городов // Океанология, 1988. – Т. 28, № 3. – С. 472–477.

5. А.И. Копылов. Роль гетеротрофных нанофлагеллят в функционировании морских и пресноводных экосистем // Автореф. дис. … докт. биол. наук. М.: ИО РАН, 2003. – 40 с.

6. А.И. Копылов, А.В. Романенко. Мелкомасштабные изменения пикопланктона и гетеротрофных флагеллят в прибрежных водах Рыбинского водохранилища и Черного моря // Биология внутренних вод. – 2004. № 2. – С. 35–38.

7. Е.В. Моисеев. К изучению зоофлагеллят Черного моря // Сезонные изменения черноморского планктона. – М.: Наука, 1983. – С. 103.

8. Ж.П. Селифонова. Роль зоопланктона в процессах самоочищения при антропогенном эвтрофировании вод Новороссийской бухты // Автореф. дис. … канд. биол. наук. Борок: ИБВВ, 2000. – 24 с.

9. Ж.П. Селифонова. Гетеротрофный нано- и микропланктон в условиях антропогенного эвтрофирования вод Новороссийской бухты // Экология. – 2001. – № 4. – С. 291–296.

10. Ж.П. Селифонова. Голо- и меропланктон // Экосистемные исследования Азовского, Черного, Каспийского морей и их побережий. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2007. – Т.9. – С. 101–107.

11. Ж.П. Селифонова, В.К. Часовников, Е.В. Якушев, О.Ю. Закускина, А.А. Кондаков, О.Н. Ясакова, Е.П. Коваленко, С.В. Сарвилина, Р.Е. Вербицкий, М.А. Шихалева. Изучение экосистем морского шельфа в условиях высокого уровня антропогенного загрязнения на примере Новороссийского порта Черного моря // Большие морские экосистемы России в эпоху глобальных изменений (климат, ресурсы, управление): Тез. докл. межд. научн. конф. (г. Ростов-на-Дону, 10-13 октября 2007). - Ростов-на-Дону: ЮНЦ, 2007. – С. 257–263.

12. Ю.И. Сорокин. Биологические процессы. // Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения прикавказской зоны Черного моря. – М.: Наука, 1996. – С. 84–95.

13. Ю.И. Сорокин, О.Ю. Закускина, О.В. Сорокина. Накопление лабильных (кислото-растворимых) сульфидов в верхнем слое донных осадков как ключевой фактор, вызывающий дестабилизацию экосистем морского шельфа в зонах антропогенного загрязнения. // Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря: Тез. докл. межд. научн. конф. (г. Геленджик, 16-20 мая 2007). – Геленджик: ЮО ИО РАН, 2007. – С. 287–290.

14. Н.И. Туманцева. «Красный прилив» в Черном море // Океанология. – 1985. – Т. 25, № 1. – С. 130–132.

15. Т.А. Шиганова, В.В. Сапожников, Э.И. Мусаева, М.М. Доманов, Ю.В. Булгакова, А.А. Белов, Н.И. Зазуля, В.В. Зернова, А.Ф. Куликов, А.Ф. Сокольский и др. Условия, определяющие распределение гребневика *Mnemiopsis leidyi* и его воздействие на экосистему Северного Каспия. // Океанология. – 2003. – Т. 43, № 5. – С. 716–733.

16. D.A. Caron. Technique for enumeration of heterotrophic and phototrophic nanoplankton, using epifluorescence microscopy, and comparison with other procedures // Appl. Environ. Microbiol… – 1983. – Vol. 46, № 2. – P. 491–498.

17. I.E. Hobbie, R.I. Dadey, S. Jasper. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // Appl. Environ. Microbiol. – 1977. – Vol. 33. – P. 1225–1228.

18. M. Maeda, P.G. Carrey. An illustrated quite to the species the family Strombiidae (Oligotrichida, Ciliophora), free swimming protozoa common in the aquatic environment // Bull. Ocean. Res. Inst. Univ. – Tokyo, 1985. – № 19. – 68 p.