

Устойчивость водорослей-макрофитов прибрежных вод Камчатки к антропогенному загрязнению

В.А. Березовская – Камчатский государственный технический университет

В современных условиях морские экосистемы испытывают все возрастающее антропогенное воздействие, которое вызывает неблагоприятные экологические и социально-экономические последствия. Наибольшему загрязнению подвергаются продуктивные мелководные участки шельфа. Под его воздействием происходят изменение качества вод, структуры и состава сообществ, уменьшение видового разнообразия, ухудшение технологических характеристик промышленного сырья и т.д.

Среди гидробионтов мелководных районов шельфа особое место занимают водоросли-макрофиты. Они играют средообразующую и продукционную роль и участвуют в процессах самоочищения вод. Исследования российских и зарубежных ученых показали, что в верхней зоне шельфа умеренных широт основным продуцентом органического вещества являются не фитопланктон, как считалось ранее, а водоросли-макрофиты (Голиков А.Н., Скарлато О.А. *Продукционные процессы в морских донных экосистемах // Структурно-функциональные исследования морского бентоса*. М.: ИО АН СССР, 1988, с. 64–75; Возжинская В.Б., Бек Т.А., Щербаков Ф.А. и др. *Некоторые результаты исследования изменений состава органического вещества макрофитов литорали Белого моря // «Известия РАН». Сер. «Биол.», 1994, № 6, с. 929–935*). Поэтому их состояние влияет на последующие звенья трофической пирамиды и экологию мелководий (Хайлов К.М., Празукин А.В., Завалко С.Д. и др. *Морские макрофиты в градиенте бытового эвтрофирования // «Водные ресурсы», 1984, № 5, с. 88–103*; Бурдин К.С., Золотухина Е.Ю. *Тяжелые металлы в водных растениях (аккумуляция и токсичность)*. М.: Диалог МГУ, 1998, 202 с.).

В связи со слабой урбанизацией Камчатского полуострова, омывающие его воды еще достаточно чистые. В то же вре-

мя здесь, как и в других районах океана, появились места, испытывающие сильный антропогенный пресс. Самыми загрязненными среди них являются Авачинская губа, расположенная в центральной части побережья Авачинского залива (рисунки), на берегах которой сосредоточен основной промышленный потенциал Камчатской области. Особенно велико загрязнение нефтепродуктами и фенолами, содержание которых достигло максимума в конце 70-х годов. С этого времени и до начала 90-х годов концентрация нефтепродуктов и фенолов в воде составляла в среднем 0,40–0,70 мг/л (8–14 ПДК) и 0,010–0,020 мг/л (10–20 ПДК) соответственно. В 90-е годы концентрация нефтепродуктов уменьшилась в среднем до 0,17 мг/л (чуть более 3 ПДК), а фенолов – до 0,003–0,006 мг/л (3–6 ПДК).

На Восточном побережье Камчатки Авачинская губа не имеет равных себе бухт и заливов, где бы на такой относительно небольшой акватории наблюдалось столь большое разнообразие условий обитания. Альгофлора губы включает почти все виды водорослей Юго-Восточной Камчатки. Это позволило нам использовать этот район как полигон для проведения альгологических исследований.

За период исследований (1970 – 1999 гг.) флора Авачинской губы претерпела коренную деструктивную перестройку. Для определения скорости разруше-

ния флористического комплекса были установлены изменения состава альгофлоры за периоды 1970 – 1991 и 1991 – 1999 гг. Сравнительному анализу подвергались списки видов, составленные на основе опубликованных данных (Klochkova N.G., Klochkova T.A. *Long-term Changes of Vegetational Communities and Benthic Algae flora in the Avacha Bay // In: Ecology of the Avacha Bay. Petropavlovsk-Kamchatsky, Tokyo, 1998, pp. 129–135*; Ключкова Н.Г., Березовская В.А. *Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. Владивосток: Дальнаука, 2001, 208 с.*).

На основании исходных данных по устойчивости различных видов к загрязнению были проведен фитосапробный анализ флористического комплекса Авачинской губы и рассмотрена таксономическая структура всех выделенных нами сапробных групп водорослей: поли-, мезо-, олиго- и стеносапробных (табл. 1). Были определены соотношения неустойчивых (олиго- и стеносапробных) и устойчивых (поли- и мезосапробных) к загрязнению видов в каждом из отделов исходной фло-



Карта-схема расположения Авачинской губы

ры губы и их изменения при антропогенном воздействии.

Как видно из табл. 1, в поли-, мезо- и олигосапробную группы входят представители всех отделов. При этом большинство полисапробов представлено зелеными водорослями (55,3 %), а мезо-, олиго- и стеносапробные виды – красными (45,7; 56,3 и 81,8 % соответственно). Бурые водоросли присутствуют во всех сапробных группах, находясь по численности на втором месте после зеленых (полисапробные) или красных (мезо-, олиго- и стеносапробные) водорослей. Зеленые водоросли не встречаются только среди стеносапробных видов. Большинство устойчивых к загрязнению видов составляют зеленые водоросли (55,3 % поли- и 20 % мезосапробные), а неустойчивых – багрянки (81,8 % стено- и 56,3 % олигосапробные). Среди неустойчивых видов доля зеленых водорослей минимальна: 8,3 % олигосапробных, а стеносапробных нет совсем.

Полученные нами результаты не совпадают с данными А.А. Калугиной-Гутник (*Макрофитобентос Черного моря. Киев: Наукова думка, 1975, 248 с.*), которая указывала, что бурые водоросли плохо переносят загрязнение. По ее данным, полученным для водорослей-макрофитов, произрастающих в Черном море, в полисапробную группу входят только зеленые и красные водоросли. Олиго- и мезосапробную группы составляют представители всех трех отделов, при этом последняя группа представлена в основном зелеными (49 %) и красными (39), а олигосапробная – красными (51) и бурыми (35 %) водорослями. Результаты наших исследований показывают, что бурые водоросли, произрастающие у берегов Камчатки, значительно более устойчивы к загрязнению, чем растущие в Черном море.

Внутри каждого из отделов соотношение между сапробными группами было различным. Большинство красных водорослей составляли олиго- и стеносапробные виды – 41,9 и 31,4 % соответственно. У бурых водорослей распределение видов по сапробным группам было более однородным, с небольшим превалированием

олигосапробов. Подавляющее большинство зеленых водорослей являлись полисапробными видами (65,6 %). В целом в исходной флоре Авачинской губы преобладали неустойчивые виды (табл. 2); соотношение между ними и устойчивыми видами составляло 55,8 к 44,2 % (92 и 73 вида соответственно).

В каждом из отделов соотношения между этими группами различались. Среди *Rhodophyta* преобладали неустойчивые виды. На их долю приходилось почти три четверти общего числа видов (73,3 %). В отделе *Phaeophyta* соотношение неустойчивых и устойчивых видов было почти одинаковым: доля первых составляла 53,2; вторых – 46,8 %. Интересно, что в целом при значительном преобладании красных водорослей над бурыми (86 против 47) число устойчивых видов в том и другом отде-

лах было практически одинаковым – соответственно 23 и 22. В отделе *Chlorophyta* преобладали устойчивые (87,5 %) виды.

Казалось естественным, что при увеличении загрязнения будут выпадать неустойчивые виды и только после того, как они почти полностью исчезнут, начнут исчезать устойчивые. Однако наши исследования показали, что это не совсем так. За 20-летний период в условиях сильного загрязнения из флоры Авачинской губы исчезли только шесть неустойчивых видов: четыре – красных и два – бурых водорослей. Соотношение между устойчивыми и неустойчивыми видами изменилось несущественно (1,4 %).

Значительное сокращение числа неустойчивых видов произошло в губе в 90-е годы. По сравнению с 1970 г. оно уменьшилось на 67,6 %, а по сравнению с 1991 г. –

Таблица 2

Изменение соотношений групп видов водорослей с различной устойчивостью к загрязнению в разных отделах флоры Авачинской губы

| Отдел водорослей | Отношение к загрязнению | 1970 г. | | 1991 г. | | 1999 г. | |
|------------------|-------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | Кол-во видов | % от отдела | Кол-во видов | % от отдела | Кол-во видов | % от отдела |
| Красные | Неустойчивые | 63 | 73,3 | 59 | 72,0 | 27 | 58,7 |
| | Устойчивые | 23 | 26,7 | 23 | 28,0 | 19 | 41,3 |
| Бурые | Неустойчивые | 25 | 53,2 | 23 | 51,1 | 8 | 29,6 |
| | Устойчивые | 22 | 46,8 | 22 | 48,9 | 19 | 70,4 |
| Зеленые | Неустойчивые | 4 | 12,5 | 4 | 12,9 | 4 | 13,3 |
| | Устойчивые | 28 | 87,5 | 27 | 87,1 | 26 | 86,7 |
| Всего | Неустойчивые | 92 | 55,8 | 86 | 54,4 | 39 | 37,9 |
| | Устойчивые | 73 | 44,2 | 72 | 45,6 | 64 | 62,1 |



на 64,7 % (см. табл. 2). При этом из 103 сохранившихся в губе видов более трети (39) являлись неустойчивыми. Их доля продолжает оставаться достаточно высокой и составляет 37,9 %. При этом число устойчивых видов за этот период несколько уменьшилось: по сравнению с 1970 г. – на девять (12,3 %). Полученные данные показывают, что, несмотря на сильное загрязнение губы, в течение длительного времени в ее флоре сохраняется достаточно большой процент неустойчивых видов. Это говорит о том, что флора крупной природной экосистемы не является простой совокупностью видов, а представляет собой целостные структуры с функционально сбалансированным составом и высокой устойчивостью к изменению качества среды. Она характеризуется стабильной таксономической структурой и определенным соотношением числа устойчивых и неустойчивых к загрязнению видов. Эти соотношения сохраняются длительное время даже при значительном сокращении видового разнообразия.

Таблица 1

Таксономическая структура сапробных групп водорослей в исходной флоре Авачинской губы

| Отдел водорослей | Полисапробные | | Мезосапробные | | Олигосапробные | | Стеносапробные | |
|------------------|---------------|------------|---------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | Кол-во | % | Кол-во | % | Кол-во | % | Кол-во | % |
| Красные | 7 | 18,4 | 16 | 45,7 | 27 | 56,3 | 36 | 81,8 |
| Бурые | 10 | 26,3 | 12 | 34,3 | 17 | 35,4 | 8 | 18,2 |
| Зеленые | 21 | 55,3 | 7 | 20,0 | 4 | 8,3 | - | - |
| Всего | 38 | 100 | 35 | 100 | 48 | 100 | 44 | 100 |