

УДК 582.259(265.52)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАССОВЫХ ВИДОВ ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД КАМЧАТКИ

С. О. Очеретяна¹, М. А. Походина^{1, 2}, И. А. Якушева¹

¹Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский

²Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,
г. Петропавловск-Камчатский
E-mail: sveta_kam_08@hotmail.ru

Приведены данные о содержании воды, минеральных, органических веществ, общего азота и фотосинтетических пигментов у 4 видов морских зеленых водорослей: *Ulva fenestrata*, *Urospora penicilliformis*, *Acrosiphonia duriuscula*, *Pseudothrix groenlandica*. Изученный материал собран в Авачинском заливе (юго-восточная Камчатка) в районах с разным уровнем антропогенного загрязнения. Химический состав разных видов в зависимости от условий обитания варьируется в достаточно широких пределах. Содержание фотосинтетических пигментов в условиях загрязнения у одних видов уменьшается, у других даже увеличивается. Данные, полученные в ходе исследования, свидетельствуют о различиях в стратегии развития зеленых водорослей в антропогенной среде.

Ключевые слова: зеленые водоросли, пигменты, хлорофилл, экстракт, химический состав, Камчатка, Авачинский залив, антропогенное загрязнение.

Разные районы юго-восточного побережья Камчатки длительное время подвергаются антропогенному загрязнению. Особенно это касается морских акваторий, находящихся вблизи населенных пунктов. Одной из них является Авачинская губа, и сведения о ее загрязнении можно найти в ряде работ (Клочкова, Березовская, 2001; Березовская, Клочкова, 1998; Копылов, Павлова, 1998; и др.).

Возросшее эвтрофирование оказало негативное влияние на состав и структуру сообществ макрофитобентоса Авачинской губы, что привело к сокращению видового разнообразия многолетних видов, снижению биомассы видов-доминантов (Клочкова, Клочкова, 1998; Очеретяна, Куплинова, 2010а). Основным фактором, определяющим сокращение многолетних представителей отделов Rhaeophyta и Rhodophyta и усиление роли эфемерных видов отдела Chlogophyta, является высокая загрязненность прибрежной зоны различными органическими веществами и тяжелыми металлами, поступающими в воду (Ocheretyana, T. Klochkova, 2010; Очеретяна, 2011).

Анализ литературных данных по воздействию загрязняющих веществ на зеленые водоросли показывает, что сточные воды, обогащенные ан-

тропогенной органикой, попадая в близлежащие акватории, оказывают на них стимулирующее действие (Калугина-Гутник, 1975; Selvi et al., 1999; Очеретяна, Куплинова, 2010б). В публикациях И. П. Муравьевой (2002а, 2002б) показано, что химический состав *Ulva rigida* и *Enteromorpha intestinalis* изменяется в зависимости не только от времени года, но и от уровня загрязнения. Известно, что содержание разных веществ в слоевищах других водорослей-макрофитов также изменяется в зависимости от условий их произрастания (Кизеветтер и др., 1981; Хайлов и др., 1984; Бурдин и др. 1990; Клочкова, Березовская, 2001; Суховеева, Подкорытова, 2006; и др.).

В. П. Гусейнова (2010), изучая пресноводные водоросли, установила, что небольшие концентрации бензина и дизельного топлива из расчета 0,5 ПДК_р (ПДК_р = 0,05 мг/дм³) стимулировали развитие водорослей. При их увеличении до 10–20 ПДК_р наблюдалось подавление их развития: уменьшались сухая масса, содержание пигментов, показатели удельного содержания хлорофилла *a* в биомассе и усиливались процессы перекисного окисления липидов в клетках водорослей. В. И. Капков (2003), определявший влияние тяжелых металлов на водоросли, установил, что даже повышенные концентрации тяжелых металлов лишь незначительно снижали их численность, но при этом вызывали заметное изменение содер-

жания пигментов. Это проявлялось в снижении содержания хлорофилла *a* и увеличении доли феофитина, имеющего желто-бурый цвет.

В Авачинском заливе, в местах с разной степенью загрязнения формируются неповторимые биоценозы. Они представлены в основном видами эфемерами, часто имеющими аномалии анатомо-морфологического строения. Настоящая работа дает представление о вариациях химического состава зеленых водорослей в разных условиях произрастания и позволяет глубже понять механизмы адаптации эфемерных видов с разным морфологическим строением к условиям многолетнего комплексного антропогенного загрязнения на физиолого-биохимическом уровне и показывает основу устойчивости сообществ, образованных представителями зеленых водорослей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал для исследования был собран в литоральной зоне шельфа в период с 31.05 по 16.06.2011 г. в разных по степени загрязнения районах Авачинского залива: у о-вов Старичков и Крашенинникова, в б. Сероглазка и у м. Вилкова. Среди перечисленных районов наиболее загрязненным является б. Сероглазка. На ее берегах расположены причалы ЗАО «Акрос», рыболовецкого колхоза им. В. И. Ленина, крупный канализационный выпуск хозяйственно-бытовых стоков. Для бухты характерно комплексное загрязнение, особенно высокое по нефтепродуктам, тяжелым металлам и фенолам (Клочкова, Березовская, 2001; Очеретяна, 2011).

Мыс Вилкова разделяет внутреннюю часть и горло Авачинской губы. Во время приливов он регулярно омывается более чистыми водами Авачинского залива, поэтому испытывает гораздо меньшее антропогенное воздействие.

Небольшие о-ва Старичков и Крашенинникова подвержены постоянному прибою и омываются чистыми водами Тихоокеанской водной массы. Нахождение здесь птичьих базаров обуславливает обогащение прибрежных вод биогенными веществами. Условия произрастания водорослей у островов в целом более благоприятны, чем в Авачинской губе, особенно в ее внутренней части.

Для изучения общего химического состава и состава фотосинтетических пигментов были выбраны 4 наиболее массовых в водах юго-восточной Камчатки вида отдела Chlorophyta – *Ulva fenestrata*, *Urospora penicilliformis*, *Acrosiphonia duriuscula*, *Pseudothrix groenlandica*. Смешанные пробы водорослей включали образцы, собранные в каждом из районов исследования в нескольких удаленных друг от друга местах.

Определение общего пигментного состава проводили по государственному стандарту, касающемуся морских водорослей, морских трав и про-

дуктов их переработки. Содержание хлорофилла *a* проводили спектрофотометрически в ацетоновых экстрактах по ГОСТ 17.1.4.02-90. Состав пигментов определяли с помощью метода и программы анализа данных, предложенных А. А. Ефимовым (2007).

Жирорастворимые пигменты зеленых водорослей экстрагировали 90%-ным ацетоном. Соотношение сырья и экстрагента при этом составляло 1:4. Полученные экстракты, имеющие изумрудно-зеленый цвет, отфильтровывали через стеклянный фильтр и исследовали с помощью спектрофотометра Leki SS2109UV.

Массовую долю воды в водорослях определяли по разнице их начальной массы в свежесобранном состоянии и их абсолютно сухим весом. Высушивание проб проводили согласно ГОСТ 26185-84. В соответствии с тем же ГОСТом определяли массовую долю минеральных веществ в озоленных образцах. Содержание общего азота определяли методом, основанным на окислении органического вещества при сжигании его в серной кислоте в присутствии катализатора, отгонке образующегося аммиака паром, улавливании его раствором серной кислоты и определении содержания азота титрованием (ГОСТ 26185-84).

Перед проведением химических исследований образцы водорослей из анализируемых проб измеряли и изучали с помощью микроскопа Olympus VX-40. У них определяли особенности расположения клеток, состояние внутриклеточных структур, средние размеры и размерные вариации, регистрировали аномалии в анатомо-морфологическом строении. Для определения размерных характеристик использовали микрофотографии, выполненные с помощью микрофотонасадки Infinity-2, и специальную программу компьютерного анализа Infinity analyze. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета Statistica 6.0 компании StatSoft Ins. и программы Microsoft Excel-2000 (Гарнаев, 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительное изучение растений из разных по уровню загрязнения мест обитания позволило выявить различия в их анатомо-морфологическом строении и определить морфометрические характеристики. Данные изучения растений из проб, взятых на химический анализ, представлены ниже.

Ulva fenestrata P. et R. – двухслойные ярко-зеленые фертильные пластины до 25 см в поперечнике, 70 мкм толщиной, с округлыми клетками 10–20 мкм в поперечнике (рис. 1а). Фертильная часть слоевища составляла около 80% ее общей поверхности, при этом фертильные клетки у некоторых растений были развиты только с од-

ной стороны пластины. Образцы, взятые для анализа, собраны в среднем горизонте литорали на крупновалунном грунте при температуре воздуха 13–17°C и температуре воды 6–16°C в б. Сероглазка, у м. Вилкова, о-вов Старичков и Крашенинникова.

Образцы, собранные у о-вов Крашенинникова и Старичков, имели типичное внутреннее строение, аномалии развития у них не обнаружены (рис. 1а). У растений, произраставших у м. Вилкова, отмечалось увеличение толщины клеточной стенки. У пластин, собранных в б. Сероглазка, обнаружены множественные случаи дисплазии клеток, увеличение толщины клеточных стенок и межклеточного пространства, увеличение размеров самих клеток. Кроме этого, у них отмечалось уплотнение хлоропласта и наличие внутриклеточных включений в виде черных точек (рис. 1б).

В настоящее время некоторые зарубежные исследователи рассматривают *U. fenestrata* как таксономический синоним *U. lactuca* Linnaeus (Silva et al., 1996), однако российские альгологи (Виноградова, 1979; Клочкова и др., 2009), вслед за Постельсом и Рупрехтом (1840), продолжают считать его самостоятельным видом.

Urospora penicilliformis (Roth) Aresch. представляет собой мягкие темно-зеленые однорядные нити до 10 см длиной и 1,2 мм шириной в верхней части нити. Растения находились в стадии активного размножения. Образцы были со-

браны и у м. Вилкова, и в б. Сероглазка в верхнем и среднем горизонтах литорали на каменистом грунте при температуре воздуха 13°C и температуре воды 6–10°C.

Растения, собранные у м. Вилкова, не имели аномалий в развитии и строении. Ширина их клеточной оболочки достигала 5 мкм, хлоропласт был перфорирован и равномерно распределен по всему объему клетки, включения в виде черных точек отсутствовали (рис. 1д). У образцов, собранных в б. Сероглазка, наблюдалось значительное, до 10–12 мкм, утолщение клеточных оболочек, хлоропласт был заметно уплотнен и занимал преимущественно центральное положение. Почти все зрелые клетки в нитях имели внутриклеточные включения в виде черных точек (рис. 1е).

Acrosiphonia duriuscula (Rupr.) Yendo – грубые темно-зеленые нитчатые кустики 3,5–5,5 см длиной. До 60% клеток, составляющих нить, были фертильными или имели признаки фертилизации, некоторые из них уже были пустыми после выхода продуктов размножения. Все образцы у м. Вилкова и на побережье о-вов Старичков и Крашенинникова были собраны в среднем горизонте литорали на крупновалунном грунте при температуре воздуха 13–17°C и воды 6–8°C.

Во всех местах обитания они не имели явно выраженных аномалий развития.

Pseudothrix groenlandica (J. Ag.) Hanic et Lind. – светло-зеленые трубчатые слоевища до 10 см

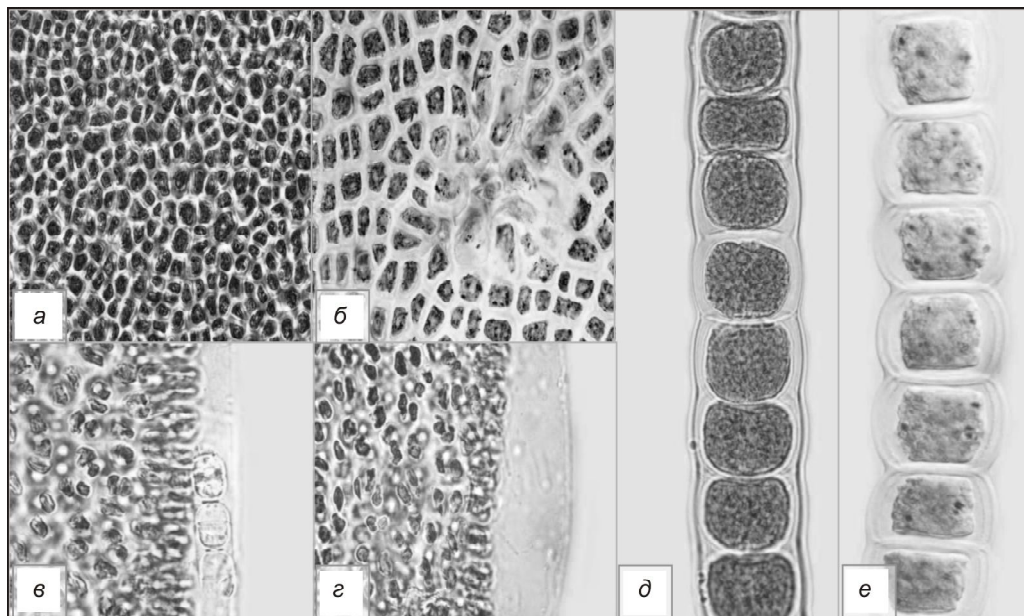


Рис. 1. Строение зеленых водорослей, собранных в разных местообитаниях. Поверхность пластин *Ulva fenestrata*, собранных у о. Крашенинникова (а), в б. Сероглазка (б); вид на поверхность слоевищ *Pseudothrix groenlandica*, собранных у о. Старичкова (в) и м. Вилкова (г); нити *Urospora penicilliformis*, собранные у м. Вилкова (д) и в б. Сероглазка (е)

Fig. 1. The structure of green algae collected in various habitats. The surface of *Ulva fenestrata* blates collected on Krashenninnikov Isl. (a), in the Seroglazka Bay (b); view on the surface of *Pseudothrix groenlandica* thalli, collected on Starichkov Isl. (c) and near Cape Vilkov (d); *Urospora penicilliformis* filaments, collected near Cape Vilkov (d) and in the Seroglazka Bay (e)

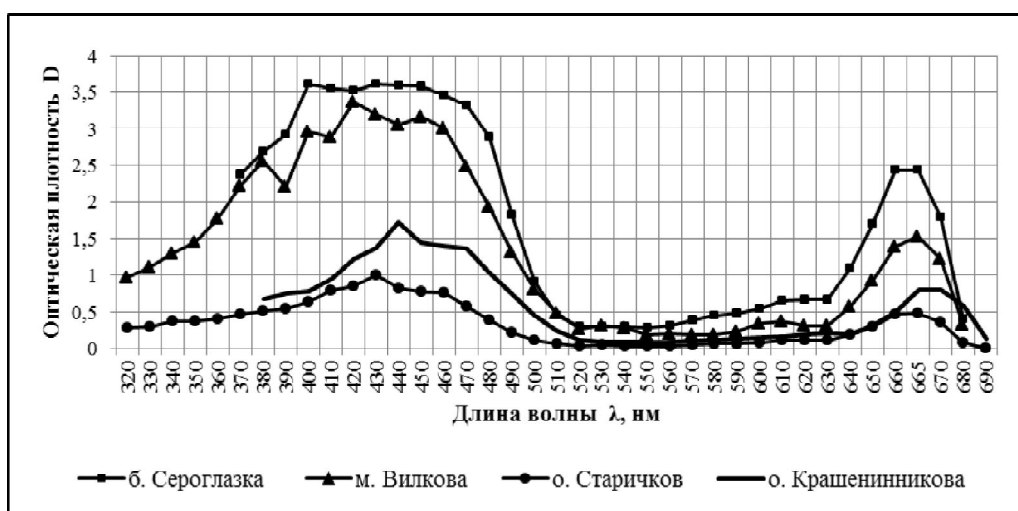


Рис. 2. Спектры поглощения ацетонового экстракта *Ulva fenestrata*

Fig. 2. The absorption spectra of the *Ulva fenestrata* acetone extract

длиной. Стенки однослойные 1,5 мм шириной, покрыты толстым слизистым чехлом до 10 мкм толщ. Фертильные клетки одиночные, немногочисленные (рис. 1г). Собран в среднем и нижнем горизонтах литорали у м. Вилкова и о. Старичков на крупных и мелких валунах при температуре воды 6–8°C, воздуха 13–17°C.

Растения, собранные у м. Вилкова, отличались от образцов, собранных на литорали о. Старичков, явным утолщением клеточной оболочки до 50 мкм (рис. 1в).

Для определения количества хлорофилла в водорослях проводили экстракцию пигментов ацетоном. Спектры поглощения ацетоновых экстрактов имели характерный для хлорофилла вид с двумя максимумами – в области длин волн 650–670 нм и в области «Полосы Сор» – 400–450 нм. Сравнение оптической плотности ацетонового экстракта при максимуме поглощения хлорофилла 664 нм позволяло судить о том, какой из образцов содержит большее количество пигментов.

При изучении содержания хлорофилла у *U. fenestrata* оказалось, что наиболее высокую оптическую плотность и, следовательно, наибольшее количество хлорофилла имеют ацетоновые экстракты образцов, собранных в наиболее загряз-

ненном районе, в б. Сероглазка, а наименьшее – растения, собранные в наиболее чистых местообитаниях, у о-вов Старичков и Крашенинникова (рис. 2).

Химический состав образцов *U. fenestrata*, собранных в разных районах побережья, при достаточно высоком сходстве имел определенные различия. Наибольшее обводнение имели растения, собранные в олиготрофных водах у о. Крашенинникова и в самом грязном из районов сбора материала месте – б. Сероглазка. Наименьшее содержание воды и, следовательно, наибольшее количество сухих веществ имели образцы, собранные у м. Вилкова. Это, вероятно, объясняется наличием здесь достаточно высокого уровня эвтрофикации вод и более низкого, чем в б. Сероглазка, токсического металлического, фенольного и нефтяного загрязнения.

Более заметной у изученных растений оказалась разница в содержании органических веществ. Их количество уменьшалось по мере уменьшения загрязнения (табл. 1). Состав органической составляющей различался по содержанию общего азота. Самым низким он был у растений из б. Сероглазка и составлял 4,87% от общего содержания органических веществ. Учитывая низкое содержание у зеленых водорослей липидов,

Таблица 1. Химический состав *Ulva fenestrata* в местах с разной степенью загрязнения

Table 1. The chemical composition of *Ulva fenestrata* in areas with various degrees of pollution

Место сбора образцов	Содержание воды, %	Содержание золы, % от сухого вещества	Содержание органической части, % от сухого вещества	Содержание общего азота, % от органической части
б. Сероглазка	90,28	99,38	0,62	4,87
м. Вилкова	89,77	99,42	0,58	6,03
о. Старичков	89,95	99,45	0,55	5,57
о. Крашенинникова	90,25	99,47	0,53	3,54

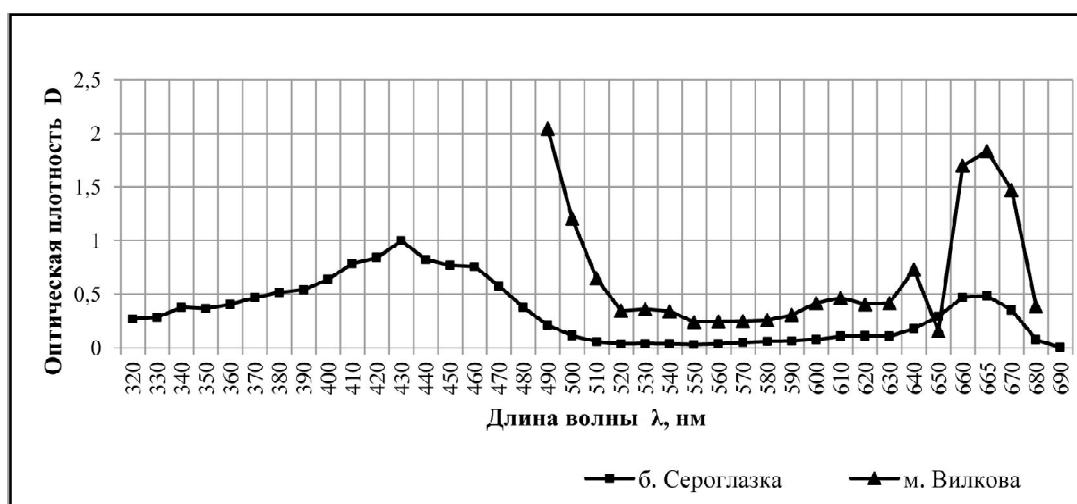


Рис. 3. Спектры поглощения ацетонового экстракта у *Urospora penicilliformis*

Fig. 3. The absorption spectra of the *Urospora penicilliformis* acetone extract

можно предполагать, что более значительную долю органических веществ у обсуждаемых образцов составляли углеводы. Их более высокое содержание у растений, обитающих в условиях токсического загрязнения, вполне объяснимо, поскольку высокомолекулярные полисахариды, участвующие в формировании у зеленых водорослей клеточных стенок и межклеточной слизи, защищают клетки от проникновения в них токсических соединений. Сравнительное изучение анатомического строения образцов показало, что у растений, собранных в загрязненных местах, формируются более толстые клеточные стенки и более широкие, заполненные слизью межклеточные пространства (см. рис. 1).

Изучение кривых поглощения ацетонового экстракта пигментов у зеленой нитчатой водоросли *U. penicilliformis* показало, что, несмотря на высокую обводненность растений, собранных у м. Вилкова, содержание хлорофилла в них больше, чем у растений из б. Сероглазка. Оптическая плотность полученного из них экстракта пигментов была равна 2 при длине волны 490 нм, в то время как у образцов из второй пробы ее значения едва достигают показателя 1 (рис. 3).

Отметим, что при меньшем содержании пигментов образцы из б. Сероглазка характеризуются значительно большим содержанием сухих ве-

ществ (табл. 2). Объяснить это можно способностью данного вида к органотрофному питанию, при котором растения могут активно использовать растворенные в воде низкомолекулярные органические соединения.

Изучение химического состава разных проб этого вида показало, что содержание воды и золы у растений, собранных в б. Сероглазка, было ниже, чем у растений, произраставших у м. Вилкова, и составило 79,23 и 98,59% соответственно. Содержание органических веществ в пробах *U. penicilliformis* из б. Сероглазка, как и у *U. fenestrata*, оказалось наиболее высоким и составило 1,41% от общего содержания сухих веществ (см. табл. 2). Содержание азота у водорослей из этой пробы также больше, чем у уроспоры, произраставшей у м. Вилкова.

При сравнении процентного содержания в сухом веществе органических веществ и процентного содержания в органической части пробы общего азота видно, что в общем составе органических веществ его доля выше у растений, произраставших у м. Вилкова. Исходя из данных изучения общего химического состава, можно говорить о том, что при заметно более высоком содержании органических веществ у водорослей из б. Сероглазка достаточно высоким должно быть содержание углеводов. Справедливость этого

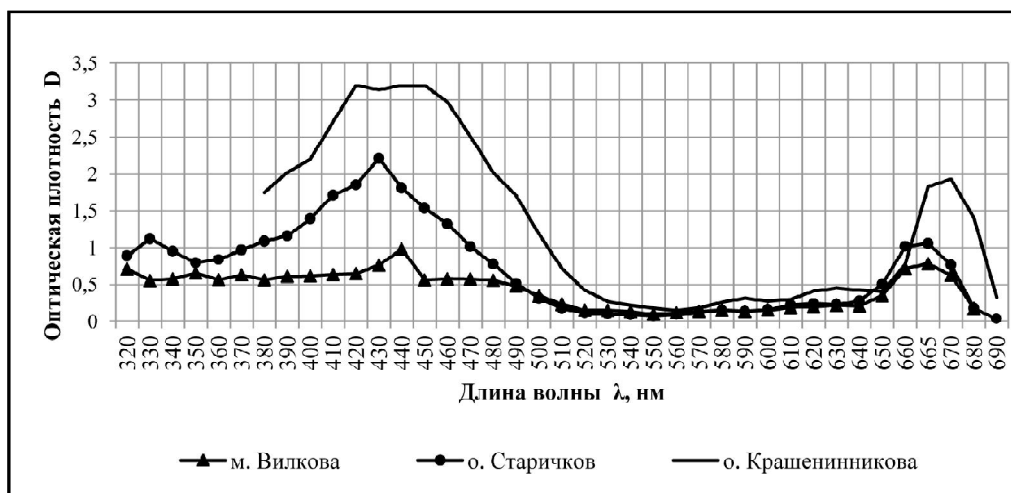
Таблица 2. Химический состав *Urospora penicilliformis* в местах с разной степенью загрязнения

Table 2. The chemical composition of *Urospora penicilliformis* in areas with various degrees of pollution

Место сбора образцов	Содержание воды, %	Содержание золы, % от сухого вещества	Содержание органической части, % от сухого вещества	Содержание общего азота, % от органической части
б. Сероглазка	79,23	98,59	1,41	7,74
м. Вилкова	86,99	99,32	0,68	6,74

Таблица 3. Химический состав *Acrosiphonia duriuscula* в местах с разной степенью загрязненияTable 3. The chemical composition of *Acrosiphonia duriuscula* in areas with various degrees of pollution

Место сбора образцов	Содержание воды, %	Содержание золы, % от сухого вещества	Содержание органической части, % от сухого вещества	Содержание общего азота, % от органической части
м. Вилкова	93,02	99,62	0,38	11,14
о. Старичков	84,02	99,43	0,57	1,49
о. Крашенинникова	89,95	99,44	0,56	11,18

Рис. 4. Спектры поглощения ацетонового экстракта у *Acrosiphonia duriuscula*Fig. 4. The absorption spectra of the *Acrosiphonia duriuscula* acetone extract

предположения иллюстрируют данные рис. 1, из которого видно, что оболочки клеток у растений, собранных в загрязненном месте (рис. 1е), намного толще, чем у представителей того же вида, собранных у м. Вилкова (рис. 1д). Утолщение оболочек клеток у этого вида является, судя по всему, одним из направлений его адаптации к сильному загрязнению, а способность к поглощению органических веществ из окружающей среды компенсирует ингибицию пигментной системы.

Химический анализ проб *A. duriuscula* показал, что содержание воды и золы в образцах, собранных у м. Вилкова, было выше, чем у о. Старичков и о. Крашенинникова, и составило 93,02 и 99,62% соответственно, а содержание органических соединений было, напротив, минимальным – 0,38%. Самая высокая концентрация азота в слоевище наблюдалась у образцов, собранных в литоральной зоне о. Крашенинникова, – 11,18%, самая низкая у образцов, собранных в литоральной зоне о. Старичков, – 1,49% (табл. 3).

В содержании хлорофилла у *A. duriuscula* была обнаружена четкая обратная корреляция с уровнем загрязненности района. Так, оптическая плотность ацетонового экстракта у образцов, собранных у о. Крашенинникова, была заметно больше,

чем у других изученных образцов (рис. 4). Следовательно, и содержание зеленых пигментов у них было наиболее высоким. В двух других пробах, собранных в близко расположенных районах, самое низкое содержание хлорофилла имели растения, произрастающие в более загрязненном районе, у м. Вилкова. На рис. 4 видны значительные различия значений оптической плотности ацетоновых экстрактов из растений, собранных в разных местообитаниях. В диапазоне длин волн 430–450 нм у образцов с о. Крашенинникова она близка к 3,5. У растений с о. Старичков таковая составляет 2,5. Что касается образцов *A. duriuscula*, собранных у м. Вилкова, то у них этот показатель в том же диапазоне волн едва достигает 1.

Несколько иная картина изменений общего химического состава и содержания пигментов в зависимости от уровня загрязнения окружающей среды была обнаружена у последнего из изученных видов – *P. groenlandica*. Содержание воды, золы и общего азота в образцах, собранных у м. Вилкова, было выше, чем у образцов, собранных у о. Старичков. Оно составило 96,23, 99,66 и 24,78% соответственно. Общее содержание органических веществ оказалось наибольшим у водорослей, собранных у о. Старичков, и составило 2,02% (табл. 4).

Таблица 4. Химический состав *Pseudothrix groenlandica* в местах с разной степенью загрязнения
 Table 4. The chemical composition of *Pseudothrix groenlandica* in areas with various degrees of pollution

Место сбора образцов	Содержание воды, %	Содержание золы, % от сухого вещества	Содержание органической части, % от сухого вещества	Содержание общего азота, % от органической части
м. Вилкова	96,23	99,66	0,34	24,78
о. Старичков	59,57	97,98	2,02	4,95

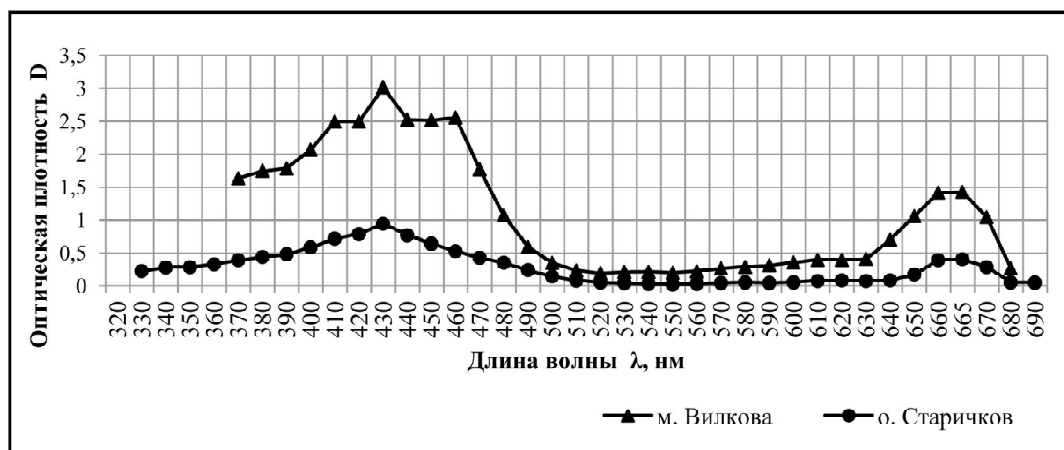


Рис. 5. Спектры поглощения ацетонового экстракта *Pseudothrix groenlandica*

Fig. 5. The absorption spectra of the *Pseudothrix groenlandica* acetone extract

Из рис. 5 видно, что растения *P. groenlandica*, произраставшие у м. Вилкова, имели достаточно высокую концентрацию хлорофилла. Об этом свидетельствует высокая оптическая плотность, равная 3, при длине волны 430 нм. Отметим, что данная проба водорослей была собрана у м. Вилкова, расположенного на границе внутренней части и горла Авачинской губы.

Анализ данных показывает, что у *P. groenlandica* содержание хлорофилла у образцов, произрастающих у м. Вилкова, было в три раза больше, чем у образцов с о. Старичков. Следовательно, у данного вида небольшое загрязнение не ингибирует, а напротив, заметно стимулирует фотосинтетическую активность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение химического состава у 4 видов зеленых водорослей, собранных в местах с разным уровнем загрязнения, показало, что он может варьировать в достаточно широких пределах. Содержание воды, например у *P. groenlandica* колеблется от 59,57% у о. Старичков до 96,23% у м. Вилкова. У остальных водорослей этот показатель изменялся незначительно и в среднем составил 88,83%. Содержание воды у различных видов водорослей может зависеть от фенологической фазы развития, географического района, физиологического состояния растения. Последнее, как показали наши исследования, тесно связано с условиями произрастания.

Окружающая среда, как известно, многокомпонентная система. Наибольшее влияние на развитие зеленых водорослей оказывают температурный режим, соленость вод, уровень фотосинтетической радиации. Близость мест сбора материала и практически одновременный отбор проб для химических исследований дают основание говорить об одинаковом воздействии этих факторов на развитие водорослей. Об этом же свидетельствует изучение возрастного состава микропопуляций разных видов. Наиболее заметно в местах сбора материала менялся уровень токсического загрязнения и эвтрофикация вод. Исследования показали, что у одних видов зеленых водорослей – *U. fenestrata*, *U. penicilliformis* – в ответ на сильное антропогенное загрязнение наблюдается заметное увеличение содержания органических веществ, у других – *P. groenlandica* и *A. duriuscula* – оно, напротив, падает. Наши ранние исследования (Очеретяна, Куплинова, 2010а, 2010б; Очеретяна, 2011; и др.) показывают, что два первых вида встречаются в Авачинской губе практически круглый год, и в их популяциях наблюдается постоянное возобновление генераций. Два других вида являются сезонными эфемерами, и в условиях загрязнения и без того небольшие сроки их вегетации заметно сокращаются, особенно у *A. duriuscula*.

Изучение изменений содержания фотосинтетических пигментов у разных видов зеленых водорослей в зависимости от степени загрязнения

среды показывает, что фотосинтетическая активность у них в разных условиях обитания разная. Так *U. penicilliformis* и *P. groenlandica* в условиях слабого загрязнения имеют максимальное содержание. У *U. fenestrata* по мере усиления загрязнения оно повышается, а у *A. duriuscula*, напротив, уменьшается. Проведенное исследование свидетельствует о том, что изученные виды зеленых водорослей имеют разный уровень адаптации к антропогенному загрязнению и приспосабливаются к неблагоприятным условиям среды путем анатомо-морфологических, биохимических и физиологических перестроек.

ЛИТЕРАТУРА

- Березовская В. А., Клочкова Н. Г.* Содержание кислорода, биогенных и загрязняющих веществ в воде Авачинской губы // Сб. науч. ст. по экологии и охране окружающей среды Авачинской бухты. – П.-Камчатский : Госкамчатэкология, 1998. – С. 19–26.
- Бурдин К. С., Крушина М. В., Савельев И. Б.* Физиологические механизмы регулирования содержания тяжелых металлов в морских макроводорослях // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. – 1990. – № 2. – С. 35–42.
- Виноградова К. Л.* Определитель водорослей Дальневосточных морей СССР. Зеленые водоросли. – Л. : Наука, 1979. – 147 с.
- Гарнаев А. Ю.* Excel, VBA, Internet в экономике и финансах. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 816 с.
- Гусейнова В. П.* Соединения углеводородной природы в функционировании пресноводных микроводорослей : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Ин-т гидробиологии НАН Украины. – Киев, 2010. – 23 с.
- Ефимов А. А.* Программа и метод анализа цифровых изображений образцов растительных и микробных пигментов // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 12. – С. 73–74.
- Калугина-Гутник А. А.* Фитобентос Черного моря. – Киев : Наукова думка, 1975. – 246 с.
- Капков В. И.* Водоросли как биомаркеры загрязнения тяжелыми металлами морских прибрежных экосистем : дис. ... д-ра биол. наук. – МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 2003. – 342 с.
- Кизеветтер И. В., Суховеева М. В., Шмелькова Л. П.* Промысловые морские водоросли и травы дальневосточных морей. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 112 с.
- Клочкова Н. Г., Березовская В. А.* Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. – Владивосток : Дальнаука, 2001. – 208 с.
- Клочкова Н. Г., Клочкова Т. А.* Долговременные изменения растительных сообществ и флоры макрофитов в Авачинской губе // Сб. науч. ст. по экологии и охране окружающей среды Авачинской бухты. – П.-Камчатский : Госкамчатэкология, 1998. – С. 27–38.
- Клочкова Н. Г., Королева Т. Н., Кусиди А. Э.* Видовой состав и особенности вегетации водорослей-макрофитов в Авачинском заливе / Камчат. гос. тех. ун-т, Камчат. фил. Тихоокеан. ин-та географии ДВО РАН. – П.-Камчатский : КамчатГТУ, 2009. – 164 с.
- Копылов Б. И., Павлова В. П.* Экология Авачинской губы: источники загрязнения, проблемы, решения, перспективы // Сб. науч. ст. по экологии и охране окружающей среды Авачинской бухты. – П.-Камчатский : Госкамчатэкология, 1998. – С. 11–18.
- Муравьева И. П.* Химический состав *Ulva rigida* Ag. из разных по степени загрязнения акваторий Севастополя (Черное море) // Экология моря. – 2002а. – Вып. 59. – С. 74–79.
- Муравьева И. П.* Химический состав зеленой водоросли *Enteromorpha intestinalis* (Link.) из обрастаний причалов севастопольских бухт (Черное море) // Экология моря. – 2002б. – Вып. 60. – С. 39–43.
- Очеретяна С. О.* Накопление тяжелых металлов у зеленых водорослей-макрофитов в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка) // Вестн. КамчатГТУ. – П.-Камчатский : КамчатГТУ, 2011. – № 16. – С. 38–44.
- Очеретяна С. О., Куплинова А. В.* Состав, структура и динамика эфемерных литоральных сообществ зеленых водорослей в районах сильного антропогенного загрязнения в Авачинской губе // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : материалы XI междунар. науч. конф. – П.-Камчатский : Камчатпресс, 2010а. – С. 194–198.
- Очеретяна С. О., Куплинова А. В.* Влияние загрязнения на литоральную альгофлору побережья Авачинской губы, испытывающего длительную антропогенную нагрузку // Природно-ресурсный потенциал региона: современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование : сб. материалов межрегион. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (23–25 марта 2010 г., г. П.-Камчатский). – П.-Камчатский : КамчатГТУ, 2010б. – С. 86–88.
- Постельс А., Рупрехт Ф.* Изображения и описания морских растений, собранных в Северном Тихом океане у берегов Российских владений в Азии и Америке. – СПб. : Акад. наук, 1840. – 22 с.
- Суховеева М. В., Подкорытова А. В.* Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки. – Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. – 243 с.
- Хайлов К. М., Празукин А. В., Завалко С. Д.* и др. Морские макрофиты в градиенте бытового эвтрофирования // Водные ресурсы. – 1984. – № 5. – С. 88–103.
- Ocheretyana S. O., Klochkova T. A.* Macroalgal communities in various areas of the Avacha Bay (Kamchatka, Russia) suffering from long-term anthropogenic pollution. Program and Proceedings of the 2010 Annual Meeting of Korean Society of Phycology (Wando, Korea. April 29–30, 2010). – 2010. – P. 80.
- Silva P. C., Basson P. W., Moe R. L.* Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean. – California : Univ. Calif. Publ. in Botany 79, 1996. – 1259 p.
- Selvi M., Shakila P., Selvaraj R.* Studies on biochemical contents of macroalgae from Cuddalore and Thirumulaivassal estuaries of Tamil Nadu // Seaweed Res. Util. – 1999. – Vol. 21, No. 1–2. – P. 99–103.

CHEMICAL COMPOSITION RESEARCH OF GREEN ALGAE DOMINANT SPECIES IN THE KAMCHATKA COASTAL ZONE

S. O. Ocheretyana, M. A. Pokhodina, I. A. Yakusheva

The article contains data on water, mineral and organic substances, total nitrogen and photosynthetic pigments volume found in four species of marine green algae: *Ulva fenestrata*, *Urospora penicilliformis*, *Acrosiphonia duriuscula*, *Pseudothrix groenlandica*. The research material was collected in the Avacha Bay (south-east of Kamchatka) in the areas with various pollution levels. The chemical composition of different species varies greatly depending on the habitat conditions. Photosynthetic pigments considered, some species have the tendency to decrease their volume under pollution, others, to even increase it. The research data testify to the differences in the strategy of green algae development in the anthropogenic environment.

Key words: green algae, pigment, chlorophyll, extract, chemical composition, Kamchatka, the Avacha Bay, anthropogenic pollution.