

УДК 582.275.54

**ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И БИОЛОГИИ
КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ *CHONDROPHYCUS KANGJAEWONII*
(K.W. NAM & C.H. SOHN) D.J. GARBARY & J.T. HARPER
(CERAMIALES, RHODOMELACEAE), ВПЕРВЫЕ
ЗАРЕГИСТРИРОВАННОЙ НА ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ**

© 2025 г. О. С. Белоус* (ORCID: 0000-0001-5540-8044),
А. В. Скрипцова (ORCID: 0000-0001-5943-4522)

Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского (НИЦМБ) ДВО РАН,
Владивосток, 690041 Россия
*e-mail: ksu_bio@mail.ru

Поступила в редакцию 28.10.2024 г.
После доработки 04.02.2025 г.
Принята к публикации 05.02.2025 г.

Красная водоросль *Chondrophycus kangjaewonii* (K.W. Nam & C.H. Sohn) D.J. Garbary & J.T. Harper, зарегистрированная в зал. Петра Великого Японского моря, является первым свидетельством обитания представителей рода *Chondrophycus* (J. Takida & Y. Saito) Garbary & J.T. Harper у побережья России. Подробно описана морфология *C. kangjaewonii* из зал. Петра Великого (Японское море). Впервые приводятся генетические данные и сведения о биологии вида.

Ключевые слова: *Laurencia pinnata*, *Chondrophycus kangjaewonii*, распространение, биология, залив Петра Великого

DOI: 10.31857/S0134347525030049, EDN: PYJIGV

Недавний анализ научной литературы, посвященной исследованию представителей трибы Laurencieae F. Schmitz, выявил необходимость ревизии ее представителей в российских водах Тихого океана (Белоус, Скрипцова, 2024). В дальневосточных морях России представители этой трибы немногочисленны и, как считалось, относятся только к роду *Laurencia* J.V. Lamouroux. Это *L. nipponica* Yamada, *L. saitoi* Perestenko, *L. pinnata* Yamada и *L. morimotoi* (Tokida) M. Preuss, Diaz-Tapia, Verbruggen & Zuccarello – вид ранее известный как *Janczewskia morimotoi* Tokida (Перестенко, 1994; Ключкова, 1996; Скрипцова, 2019). Как было отмечено ранее (Белоус, Скрипцова, 2024), в заливе Петра Великого встречается водоросль, морфологически сходная с *L. pinnata*, характеризующаяся уплощенными перисто-разветвленными талломами. Однако изученные образцы не имели характерных для рода *Laurencia* глобулярных телец “corps en cerise”

в коровых клетках и вторичных поровых связях между клетками коры. В то же время, особенности развития сперматангиальных трихобластов сближали эту водоросль с представителями рода *Chondrophycus* (J. Takida & Y. Saito) D.J. Garbary & J.T. Harper. Это позволило нам предположить, что найденные образцы могут быть отнесены к этому роду (Белоус, Скрипцова, 2024).

Род *Chondrophycus* был отделен от рода *Laurencia* в 1998 г. (Garbary, Harper, 1998). В настоящее время род *Chondrophycus* насчитывает 14 видов, из которых только для пяти получены генетические данные. В отличие от рода *Laurencia*, род *Chondrophycus* объединяет виды с двумя периферическими клетками, перпендикулярно расположенными тетрапорангиями, без вторичных поровых связей между наружными коровыми клетками и глобулярных телец “corps en cerise” (Garbary, Harper, 1998).

Представители рода *Chondrophycus* распространены преимущественно вдоль побережья Тихого океана, небольшое число видов встречается в Атлантике (Guiry, Guiry, 2024). Виды рода достаточно хорошо дифференцируются морфологически. У большинства представителей талломы цилиндрические, уплощенные слоевища характерны для шести видов. В северо-западной части Тихого океана распространены пять видов *Chondrophycus* (Guiry, Guiry, 2024). У российского побережья его представители ранее не отмечались. Сведения о биологии большинства видов отсутствуют.

Цель данного исследования – определение родовой и видовой принадлежности обнаруженной водоросли на основании данных морфологического и молекулярно-генетического анализов, а также изучение биологии *C. kangjaewonii* в зал. Петра Великого.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Были изучены живые образцы, собранные в октябре 2021 г. и в марте-апреле 2023 г. в б. Лазурная (43°14' с.ш. и 132°11' в.д.), в сентябре 2022 г. у о-ва Рикорда (42°52' с.ш. и 131°39' в.д.), в июне 2023 г. у мыса Ахлестышева (42°59' с.ш. и 131°56' в.д.), в июле 2024 г. в б. Агатовая (42°35' с.ш. и 130°54' в.д.), и с марта 2022 г. по октябрь 2024 г. в б. Богдановича (42°57' с.ш. и 131°54' в.д., южное побережье о-ва Русский). Дополнительно были проанализированы гербарные образцы растений, собранные в июле 1996 г. и в ноябре 2004 г. в б. Сивучья (42°27' с.ш. и 130°47' в.д.), а также в июле 2003 г. в б. Богдановича. Исследованные образцы хранятся в гербарии Лаборатории автотрофных организмов и в музее ННЦМБ ДВО РАН. Описание вида из зал. Петра Великого составлено по живым образцам.

Наблюдение за сезонной динамикой биомассы вида, изменением размерно-весовых характеристик особей популяции, сроками его вегетации и репродукцией проводилось с мая 2023 г. по январь 2025 г. в б. Богдановича, где исследуемый вид встречался в массовом количестве. Бухта Богдановича полузакрытая, расположена с восточной стороны мыса Вятлина, открыта для ветров только западного направления. Побережье бухты каменистое. Прибрежная часть мелководная, со слабым водообменом

и низкой волновой активностью. Мелководье (максимальная глубина 1 м) простирается примерно на 100 м от берега; дно илисто-галечное с крупными плоскими камнями и валунами разного размера.

Водоросли собирали на литорали и в верхней сублиторали (до глубины 1 м) с грунта или снимали с других водорослей. Так как на воздухе водоросль очень быстро погибала и разрушалась, в теплое время года образцы помещали в емкость с морской водой и доставляли в лабораторию в коробке с хладоэлементами; до анализа хранили в холодильнике.

Биомассу растений определяли в период массового развития вида (с мая по июль 2024 г. и с октября 2024 г. по январь 2025 г.). Для этого выбирали обширные заросли вида и визуально определяли его проективное покрытие (ПП). Затем случайным образом в заросли помещали рамку размером 0.5 × 0.5 м, из которой выбирали все водоросли. Отбирали не менее четырех количественных проб. Водоросли (хондрофикус) взвешивали с точностью до 0.01 гр. На основании полученных данных рассчитывали биомассу, которая в тексте представлена как средние значения с приведением стандартной ошибки среднего. При камеральной обработке измеряли длину каждого таллома, взвешивали его и просматривали под биноклем для определения репродуктивного статуса. В каждый период наблюдения анализировали не менее 50-ти талломов. Анализ частотного распределения размеров и массы талломов проводили в программе Statistica 7.0 (StatSoft, США).

Для подтверждения родовой принадлежности обнаруженной водоросли секвенировали фрагмент гена, кодирующего большую субъединицу рибулозобифосфат-карбоксилазы/оксигеназы (*rbcL*) и баркодинг участок первой субъединицы цитохром оксидазы *c* (*COI*). ДНК выделяли из живых образцов с использованием 3% ЦТАБ-буфера. Для амплификации *rbcL* использовали праймеры F57 и *rbcL*revNEW (Saunders, Moore, 2013), *COI* амплифицировали с помощью праймеров *GazF1* и *GazR1* (Saunders, 2005). Полученные нами и собранные из GenBank последовательности выравнивали в программе MEGA-X (Kumar et al., 2018). Генетические расстояния (*p*-distance) рассчитаны в MEGA-X. Филогенетическое

дерево строили методом максимального правдоподобия в программе IQ-TREE v.2 (Minh et al., 2020), используя автоматический подбор моделей. Полученные последовательности COI и *rbcL* депонированы в GenBank. Номера доступа для COI: PQ497900–PQ497902, для *rbcL*: PQ497903–PQ497907.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Особенности морфологии и анатомии водоросли из залива Петра Великого, а именно отсутствие “*corps en cerise*”, поровых связей, фертильность обеих ветвей сперматангиальных трихобластов и наличие только двух периферических клеток, однозначно идентифицируют ее как представителя рода *Chondrophycus*.

На филогенетическом дереве, построенном на основании данных о последовательностях

rbcL, собранные нами образцы группировались с другими представителями рода *Chondrophycus*, образуя высокоподдержанную кладу (значения стандартной непараметрической бутстреп поддержки – 98%), и были дистантны от видов других родов трибы Laurencieae (рис. 1). Дивергенция COI и *rbcL* между нашими образцами и другими представителями рода *Chondrophycus* составляла 7.9–9.6% и 6.8–11% соответственно.

Сравнение собранных нами образцов с другими видами рода, имеющими сходную морфологию (табл. 1), позволяет отнести их к *C. kangjaewonii*. Ниже дано детальное описание *C. kangjaewonii* из зал. Петра Великого.

ОТДЕЛ Rhodophyta

Класс Florideophyceae

Порядок Ceramiales

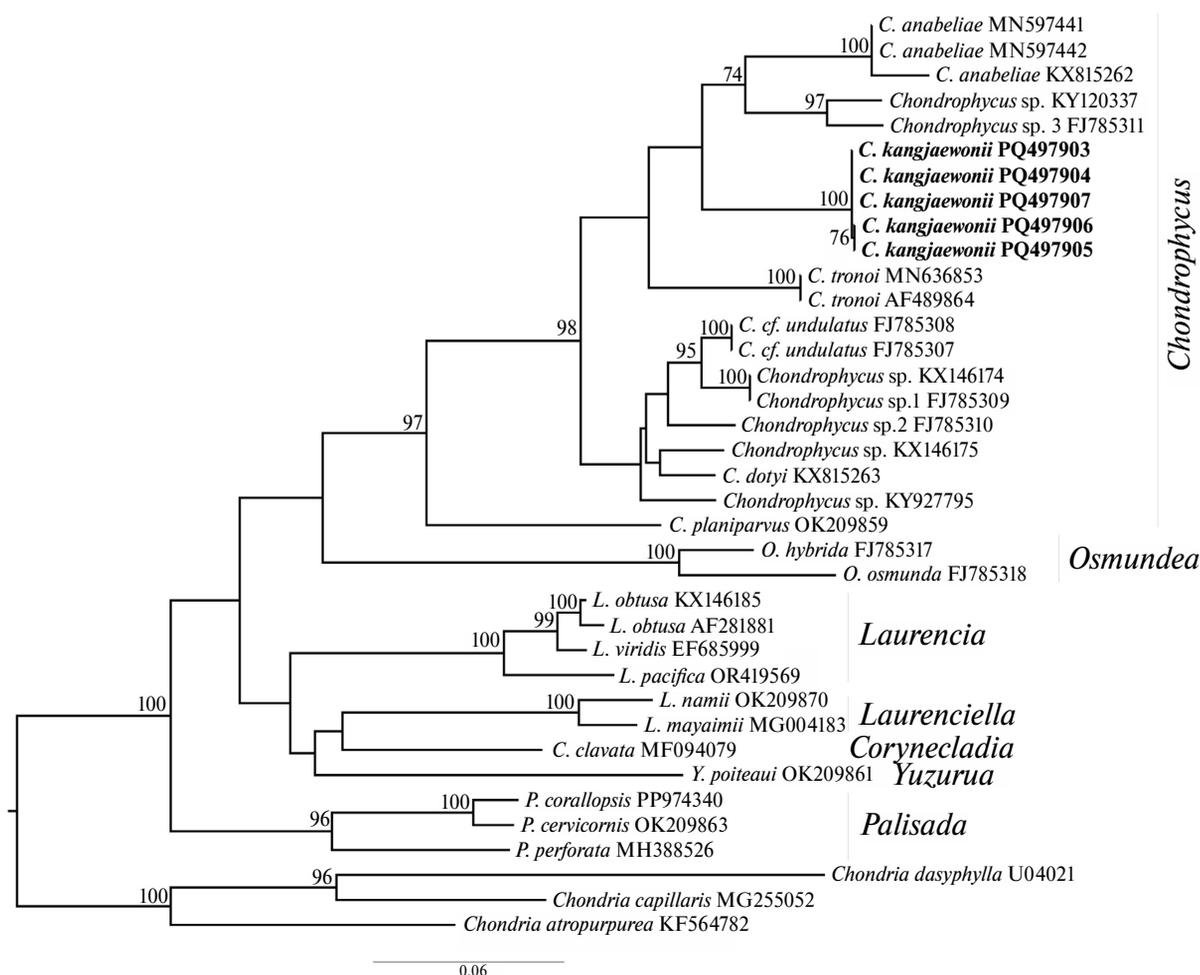


Рис. 1. Филогенетическое дерево трибы Laurencieae, построенное методом максимального правдоподобия на основании данных о последовательностях гена *rbcL*. Числа у узлов – значения стандартной непараметрической бутстреп поддержки.

Таблица 1. Сравнение *Chondrophycus* из зал. Петра Великого с морфологически близкими видами

Параметры	<i>Chondrophycus</i> из зал. Петра Великого	<i>S. kangjæwonii</i>	<i>Laurencia pinnata</i>	<i>S. seylanicus</i>	<i>S. dotyi</i>	<i>S. undulatus</i>
Длина и текстура таллома	До 8 см, жесткий, хрящеватый	7–10 см, до-вольно мягкий, хрящеватый	4–8 см, мягкий, хрящеватый	До 10 см, жесткий, хрящеватый	4–5 см, жесткий, хрящеватый	До 8 см, довольно мягкий, хрящеватый
Ширина ветвей	До 4.5 мм	До 4.5 мм	1.3–4 мм	3–4 мм	До 2 мм	До 3 мм
Конечные веточки	Уплощенные или цилиндрические с округлыми верхушками	Уплощенные или цилиндрические с округлыми верхушками	Слегка уплощенные, раздутые на верхушках	Тупые, буторчатые	Цилиндрические, булавовидные или округлые	Цилиндрические, усеченные или округлые
Тип прикрепления	Дисковидная подошва, иногда со столонами	Дисковидная подошва, обычно без столонов	дисковидная подошва	Дисковидная подошва	Дисковидная подошва	Дисковидная подошва, иногда со столонами
Тип ветвления	Двустороннее, перистое, поочередное до супротивного	Двустороннее, перистое, поочередное до супротивного	Двустороннее, перистое	Двустороннее, поочередное до супротивного	Двустороннее, поочередное, супротивное или неправильное	Двустороннее, неправильно перистое
Вторичные поровые связи	–	–	+	–	–	–
Выступающие клетки коры	На концах молодых веточек	Слегка выступают или нет на концах веточек	На концах молодых веточек	–	На апикальных и субапикальных веточках	–
“ <i>Corps en serie</i> ”	–	–	+	–	–	–
Положение тетрапорангиев	Параллельное	Параллельное	Параллельное	Перпендикулярное	Перпендикулярное	Перпендикулярное
Количество периферических клеток	2	2	4	2	2	2
Особенности развития сперматангиальных трихобластов	С двух сторон на сбк (остаются частично стерильными)	С двух сторон на сбк (остаются частично стерильными)	От одной из двух латералей на сбк	С двух сторон на сбк (остаются частично стерильными)	С двух сторон на сбк (остаются частично стерильными)	С двух сторон на сбк (остаются частично стерильными)
Местообитание	л, вс, на твердых грунтах или эпифитно	с, на твердых грунтах	нл, вс, на твердых грунтах или эпифитно	На твердых грунтах	л, на твердых грунтах	нл, на твердых грунтах
Литература	Настоящая работа	Nam & Sohn 1994; Nam, 2011	Перестенко, 1980; Nam, 2011	Wynne et al., 2005	Wynne et al., 2005	Nam, 1999

Примечание. л – литораль, нл – нижняя литораль, с – сублитораль, вс – верхняя сублитораль, “+” – присутствуют, “–” – отсутствуют, “+” – присутствуют, сбк – супрабазальная клетка трихобласта.

Семейство Rhodomelaceae

Триба Laurenciae

Chondrophycus kangjaewonii (K.W. Nam & C.H. Sohn) D.J. Garbary & J.T. Harper

Морфология вегетативных структур

Растение 3.5–7.5(8) см высотой, хрящеватое, мясистое, жесткое, красновато-коричневое, желтоватое до оливково-коричневого с розовеющими верхушками, полностью уплощенное или сдавленно-цилиндрическое, иногда базальные части и конечные веточки цилиндрические (рис. 2а). Хорошо прилипает к бумаге всей поверхностью. От дисковидной подошвы отрастает один или несколько побегов, 1–4.5 мм шириной, образуя шаровидные розетки до 10 см в диаметре (рис. 2б); у взрослых растений в базальной части таллома могут образовываться столонообразные побеги. Ветвление двустороннее, перистое, поочередное до супротивного или неправильное. Конечные веточки плоские или цилиндрические, иногда округлые на верхушках, 0.2–0.4 мм в диаметре, с апикальными углублениями, в которых от периферических клеток оси развиваются трихобласты. Клетки коры с поверхности полигональные (15–40 × 15–50 мкм), выступающие на верхушках молодых веточек (рис. 2в); на поперечном и продольном срезах клетки широкие, бокалообразной формы (30–35 × 45–50 мкм) (рис. 2г). Вторичные поровые соединения между соседними клетками коры и глобулярные тельца (“*corps en cerise*”) в коровых клетках и трихобластах отсутствуют. Клетки сердцевинки периферически-удлиненные, толстостенные, без линзовидных утолщений, уменьшающиеся к поверхности (15–50 × 12–35 мкм). Ризоидные клетки встречаются редко в основании старых талломов или отсутствуют. Каждый осевой сегмент с двумя периферическими клетками (рис. 2д).

Морфология репродуктивных структур

Растение двудомное. Сперматангиальные стихидии короткие, широкие, конусовидные, 0.3–1.3 мм в диаметре, с чашевидной апикальной ямкой. Сперматангиальные трихобласты образуются от осевой клетки, несут две ветви. Обе ветви состоят из фертильной и стерильной

частей, каждая ветвь фертильной части оканчивается большой сферической стерильной клеткой размером 10 × 25 мкм. Сперматангии овальные (10–12 × 12–14 мкм), с апикальным ядром (рис. 2е). Растение с цистокарпами уплощенно-цилиндрическое, искривленное, с укороченными цилиндрическими конечными веточками. Зрелый цистокарп яйцевидный или урновидный, размером 750–875 × 700–1000 мкм, со слегка выступающей или не выступающей остиолой (рис. 2ж). Растение с тетраспорангиями корявое, с уплощенным главным побегом и узкоцилиндрическими или уплощенными веточками (рис. 2з). Тетраспорангиальные стихидии цилиндрические или реже уплощенные, вздутые (1–2.5 × 0.3–0.9 мм), простые или иногда разветвленные (рис. 2и). Тетраспорангии тетраэдрически разделенные, 130–220 мкм в диаметре. Первые спорангии закладываются на верхушках стихидиев (рис. 2к, 3а), далее по мере роста стихидия и образования новых спорангиев сдвигаются вниз и располагаются параллельно оси (рис. 2л, м, 3б).

Другие особенности

При извлечении из воды, особенно в теплое время года, растение очень быстро отмирает (примерно в течение 30 мин) с выделением неприятного, едкого, химического запаха, который при высокой концентрации (особенно в закрытом помещении) может вызвать головную боль и приступ аллергии.

Биология C. kangjaewonii в зал. Петра Великого

Данные о ежемесячной температуре воды, размерам и массе талломов, биомассе, срокам вегетации и размножения *C. kangjaewonii* приведены в табл. 2.

Распределение и условия обитания

Растет от нижней литорали до верхней сублиторали (до глубины 1 м) на валунно-глыбовом, каменистом и скалистом грунтах, а также как эпифит в полузащищенных и открытых участках залива. Вегетирует круглый год. За время вегетации сменяется несколько поколений. С января по апрель встречался редко единичными куртинками на камнях или на *Coccophora*

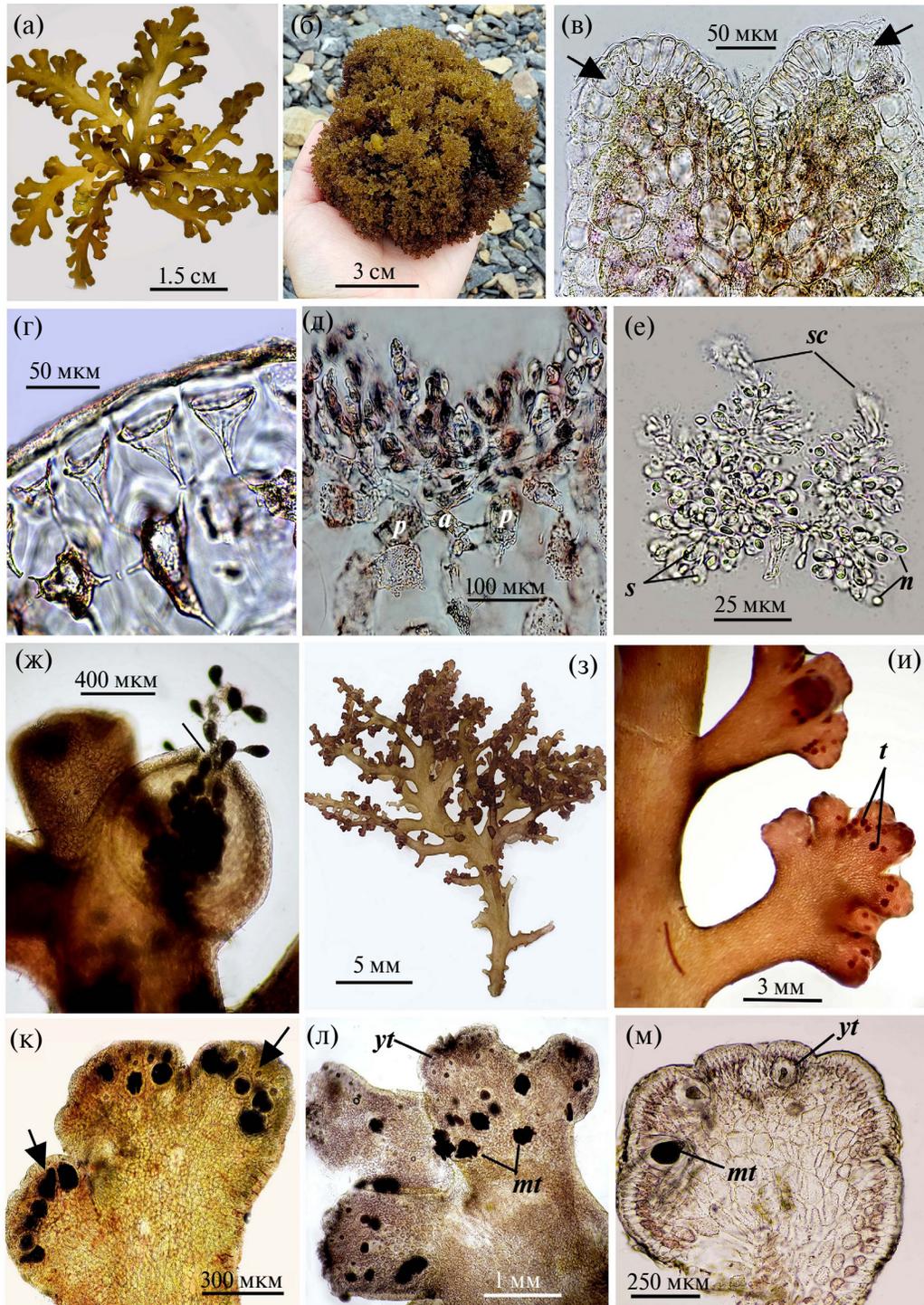


Рис. 2. Вегетативная и репродуктивная морфология *Chondrophycus kangjaewonii*: внешний вид стерильного молодого растения (а); внешний вид зрелого растения в июле (б); выступающие клетки коры на верхушках конечных молодых веточек (в); поперечный срез, показывающий широкие бокаловидные клетки коры без вторичных поровых связей (г); продольный срез через апикальную ямку, показывающий осевую клетку с двумя периферическими клетками (д); спермангиальный стихидий (е); зрелый цистокарп с не выступающей остиолой (ж); внешний вид тетраспорангиального растения (з); тетраспорангиальные стихидии (и); конечные веточки с перпендикулярным расположением тетраспорангиев (к); конечные веточки с параллельным расположением тетраспорангиев (л); поперечный срез через стихидий, показывающий параллельное расположение тетраспорангиев (м). Условные обозначения: *a* – осевая клетка, *o* – остиола, *p* – периферические клетки, *n* – ядро, *s* – спермангии, *sc* – стерильная клетка, *t* – тетраспорангии, *yt* – молодые тетраспорангии, *mt* – зрелые тетраспорангии.

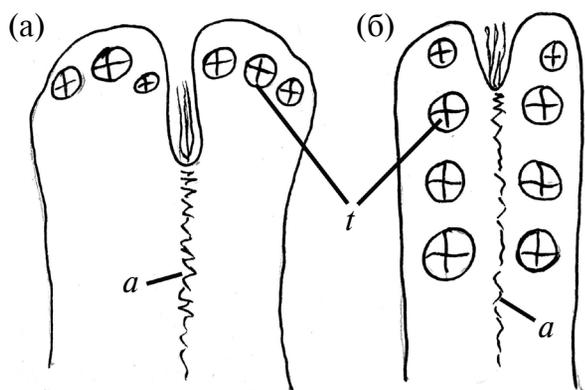


Рис. 3. Рисунок-схема расположения тетраспорангиев: перпендикулярно центральной оси (а) и параллельно центральной оси (б). Условные обозначения: *t* – тетраспорангии, *a* – центральная ось.

langsdorffii (Turner) Greville (рис. 4а), *Sargassum* spp. и *Neorhodomela aculeata* (Perestenko) Masuda. В мае хондрофикус рос отдельными кустиками с незначительным ПП дна около 1% и средней биомассой 8.1 ± 0.9 г/м² в начале и 13.2 ± 3.0 г/м² в конце месяца на свободных участках дна

или среди разреженных зарослей *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link и *Sargassum miyabei* Yendo. К июню вид образовывал небольшие разреженные почти однородные поселения, формируя торф вместе с другими водорослями. В начале и конце месяца ПП дна хондрофикусом составляло соответственно около 10 и 30%, средняя биомасса от 15.07 ± 3.8 до 32.5 ± 11.4 г/м². С мая по июнь включительно талломы густо обрастали эпифитами: *Leathesia marina* (Lyngbye) Decaisne (рис. 4б), *Vertebrata stimpsonii* (Harvey) Kuntze, *Colpomenia peregrina* Sauvageau, *Melanothamnus yendoi* (T. Segi) Diaz-Tapia & Maggs, *Ulvella lens* P. Crouan & H. Crouan, *Punctaria plantaginea* (Roth) Greville, *Acrochaetium* sp. и др. К июлю *Chondrophycus* разрастался, местами покрывая почти сплошным ковром камни. Его ПП в начале июля достигало 80%, максимальная биомасса – 435.2 г/м² (в среднем 80.2 ± 27.8 г/м²). С конца июля плотность поселения вида заметно сократилась, водоросль встречалась отдельными кустиками среди зарослей *Dictyota dichotoma*

Таблица 2. Размерно-весовые характеристики, сроки вегетации, размножения и обилие *Chondrophycus kangjaewonii* в течение года в зал. Петра Великого

Параметры	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Температура воды, °С	-1.5	-1-1.5	1-1.5	4	9-13	14.1-19
Состав популяции, % от общего числа особей	С	С	С	С	С (99%) Т (1%)	С (42%) Т (1-58%)*
Размеры, см	1-6	До 3	0.9-4.5	0.9-4.5	0.9-5.5	1.0-7.5
Масса отдельных талломов, гр	0.2-5.6	-	-	-	0.03-7.23	0.05-7.40
Обилие	+	+	+	+	++	++
ПП, %	< 5	< 1	< 1	< 1	< 1	10-30
Параметры	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Температура воды, °С	19-23	21-24	19-20	12-16.2	5-7.6	-0.4-1.3
Состав популяции, % от общего числа особей	С (9-0%)* Т (73-79%)* Ц (18-21%)*	С, Т, Ц	С (53%) Т (35%) Ц (12%)	С (43%) Т (40%) Ц (17%)	С (64%) Т (35%) Ц (1%)	С (98%) Т (2%)
Размеры, см	1.5-8	2.5-3.5	1.2-3.6	0.9-5.9	1.4-6.8	1.0-6.3
Масса отдельных талломов, гр	0.08-30.09	-	0.03-1.93	0.03-10.8	0.19-12.1	0.12-10.38
Обилие	+++	+	+	++	++	++
ПП, %	30-80	< 1	19-20	20-40	5-30	30-60

* Доля растений в начале и в конце месяца.

Примечание. ПП – проективное покрытие, С – стерильный, Т – растения тетраспорангии, Ц – цистокарпы, (+) – редко, (++) – много, (+++) – массово.

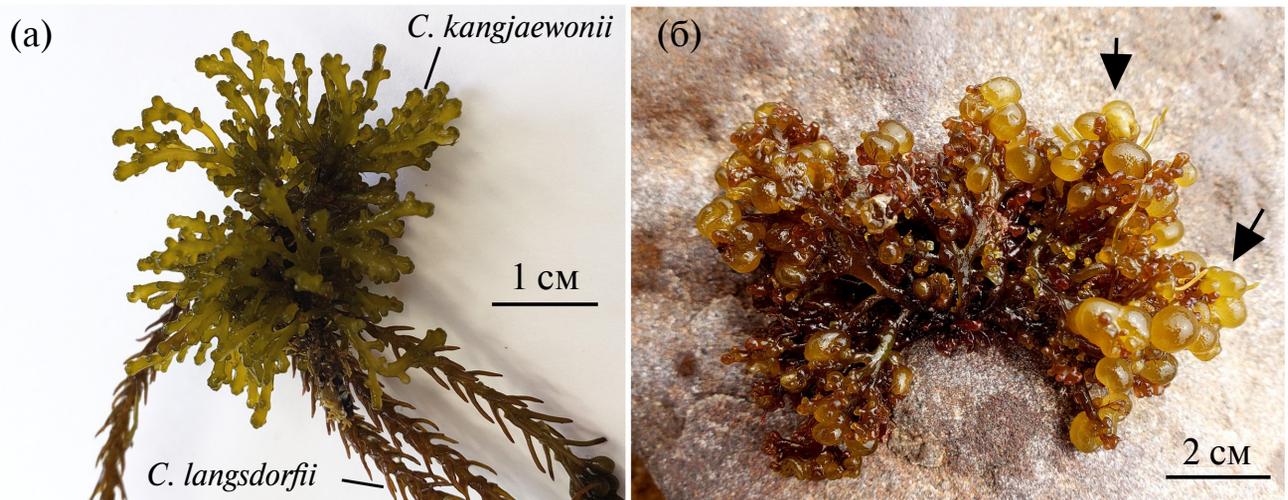


Рис. 4. *Chondrophycus kangjaewonii*, растущий эпифитно на *Coccophora langsdorfii* (а); *C. kangjaewonii* с эпифитом *Leathesia marina* (б) (показано стрелками).

(Hudson) J.V. Lamaroux, ПП снизилось примерно до 1%, средняя биомасса — до 48.7 ± 11.1 г/м². В августе популяция была представлена небольшим числом полуразрушенных талломов. Начиная с сентября, появилось множество молодых талломов. С середины октября по декабрь ПП дна хондрофикусом составляло от 5 до 60%, средняя биомасса колебалась от 22.38 ± 4.22 до 38.66 ± 5.86 г/м².

Изменение размерно-весовых характеристик в течение года, сроки вегетации и размножения

Круглогодичные наблюдения за ростом и развитием *C. kangjaewonii* показали, что в популяции в течение года встречаются разноразмерные растения (рис. 5). С января по апрель при температуре от -1 до $+4^\circ\text{C}$, водоросль встречалась редко, главным образом как эпифит. Средняя высота талломов составляла 1.5–3 см (см. табл. 2). В мае с увеличением температуры воды до 9 – 13°C начинался активный рост и постепенное увеличение массы талломов, появлялись проростки до 1 см высотой (см. рис. 5). К июлю проростки практически исчезали. В мае — начале июня в популяции преобладали талломы 2–3 см высотой и массой до 0.5 г. К концу июня с прогревом воды до 19°C в популяции возрастала доля талломов высотой 3–4 см. В июле при температуре воды 19 – 23°C водоросль распространялась по субстрату и разрасталась в крупные шарообразные куртины до 10 см в диаметре. Отдельные талломы

достигали 8 см высоты и максимальной массы более 30 г (см. рис. 5). В августе заросли элиминировали, популяция была представлена единичными талломами, не превышающими 4 см высотой. Новые проростки появлялись, предположительно, в конце августа — начале сентября, когда снова начинался активный рост водоросли. Размеры и масса талломов увеличивались, в середине октября и по конец декабря встречались растения от 0.9 до 6.8 см высотой с массой отдельных талломов от 0.03 до 12 г.

С конца декабря по апрель при низкой температуре воды от -1.5 до $+4^\circ\text{C}$ *C. kangjaewonii* встречался только в стерильном состоянии и имел полностью уплощенные слоевища. Размножается летом и осенью. В популяции преобладал тетраспорофит. С момента закладки первых органов размножения растение приобретало уплощенно-цилиндрическую форму. Первые тетраспорангии (не более 1% растений в популяции) появлялись в конце мая с прогревом воды до 13°C . К концу июня доля растений с тетраспорангиями значительно увеличивалась (до 58%), достигая максимума в июле (79%). Споры выходили в июле, талломы сильно деформировались и начинали разрушаться. Цистокарпы появлялись в начале июля при температуре воды 19 – 23°C (до 18% растений популяции в начале месяца и до 20% — в конце). В августе при максимальной температуре воды (24°C) были встречены редкие полуразрушенные растения с цистокарпами, тетраспорангиями и стерильные. В сентябре в популяции

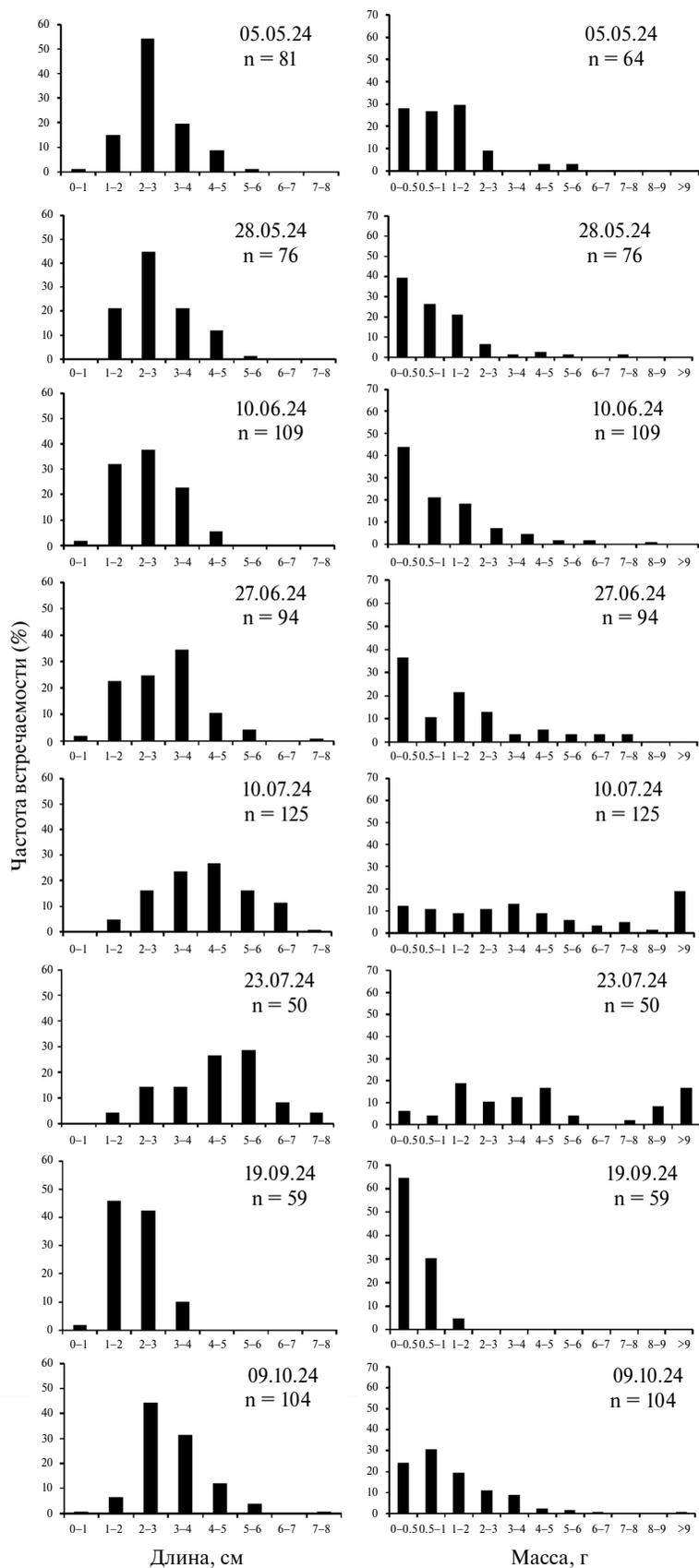


Рис. 5. Вариабельность размерно-весовых характеристик *Chondrophycus kangjaewonii* в период его массового развития (данные с мая по июль).

преобладали стерильные растения (53%), количество растений с тетраспорангиями и с цистокарпами составляло 35% и 12% соответственно. К середине октября доля фертильных растений незначительно увеличивалась (до 40% с тетраспорангиями и до 17% с цистокарпами). С ноября при понижении температуры воды до 5°C вновь возрастала доля стерильных растений (до 64%), талломы с цистокарпами встречались единично. Сперматангии встречены в конце июня при температуре 18°C и в сентябре.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ морфологии водоросли из зал. Петра Великого, ранее отмечавшейся здесь как *Laurencia pinnata*, указал на неверную идентификацию. Основными диагностическими признаками рода *Laurencia* являются четыре перицентральные клетки в вегетативной оси, наличие вторичных поровых связей в коре, параллельное расположение тетраспорангиев относительно оси стихидия, а также наличие “*corps en cerise*” в эпидермальных клетках и трихобластах (Garbary, Harper, 1998). В российских водах вид *L. pinnata* впервые был указан Л.П. Перестенко (1971) для зал. Посъета, позднее он отмечался во многих бухтах зал. Петра Великого (Перестенко, 1980; Гусарова, 1988; Коженкова, 2008; Белоус и др., 2013), а также в Татарском проливе (Клочкова, 1996), на о. Кунашир и о-вах Малой Курильской гряды (Евсеева, 2016). Наши обширные сборы водорослей, внешне схожих с *L. pinnata* своими уплощенными талломами, не выявили ни одного образца, который можно было бы отнести к этому виду. Напротив, проанализированные образцы имели признаки, характерные для рода *Chondrophycus*: две перицентральные клетки, отсутствие “*corps en cerise*” и поровых связей между клетками коры. Расположение тетраспорангиев, параллельное оси стихидия, позволило идентифицировать собранные нами образцы как *C. kangjaewonii* (у прочих видов рода они располагаются у верхушек стихидиев перпендикулярно оси (Saito, 1967)). Этот признак сближает *C. kangjaewonii* с представителями рода *Laurencia* (Nam, Sohn, 1994). Вероятно, внешнее сходство *C. kangjaewonii* с *L. pinnata* и особенности расположения тетраспорангиев становились причиной неверной идентификации водоросли не только

в морях Дальнего Востока России, но и в Корее. Как отмечалось, у корейского побережья *C. kangjaewonii* до его описания ошибочно определяли как *L. pinnata* или как *L. brongniartii* (Nam, 2011).

При первом упоминании *L. pinnata* в зал. Петра Великого (Перестенко, 1971) вероятной причиной неверной идентификации могли стать не до конца сформировавшиеся представления о роде *Laurencia*, в диагнозе которого объединялись характерные черты нескольких родов (Saito, 1967). Разделение *Laurencia* на несколько родов было начато только в 1990-х годах с выделения родов *Osmundea* Stackhouse и *Chondrophycus* (Nam et al., 1994; Garbary, Harper, 1998). Современное понимание *Chondrophycus* было сформировано в 2006 г. (Nam, 2006). Важным морфологическим признаком, позволяющим легко отличить виды *Laurencia* от представителей рода *Chondrophycus*, является наличие “*corps en cerise*” (Garbary, Harper, 1998). Однако, во время инвентаризации флоры макроводорослей зал. Петра Великого в 1970-х гг. этот признак не рассматривался в качестве диагностического. Важное систематическое значение “*corps en cerise*” было отмечено только в 1988 г. (McDermid, 1988), а его применимость для разграничения родов *Laurencia* и *Chondrophycus* обоснована в конце 1990-х гг. (Garbary, Harper, 1998). Альгологи, изучавшие флору дальневосточных морей, при идентификации лауренциевых водорослей с уплощенными талломами следовали Л.П. Перестенко и ошибочно указывали их в разных акваториях как *L. pinnata*, а не *C. kangjaewonii*. Тем не менее, мы не можем с уверенностью заявлять, что *L. pinnata* отсутствует в российских водах, поскольку этот вид широко распространен вдоль побережья Китая, Кореи и Японии (Guiry, Guiry, 2024).

Как отмечалось ранее, среди представителей рода *Chondrophycus*, в целом характеризующегося перпендикулярным расположением тетраспорангиев у верхушек стихидия (Saito, 1967; Garbary, Harper, 1998), только у *C. kangjaewonii* спорангии располагаются параллельно его оси (Nam, Sohn, 1994; Nam, 2011). Наши наблюдения показывают, что первые тетраспорангии у *C. kangjaewonii* начинают закладываться на верхушках стихидиев и располагаются перпендикулярно оси. Преимущественно

перпендикулярное расположение тетраспорангиев обнаружено на образцах, собранных в начале июля 2024 г. в б. Агатова (рис. 2к, 3а) и в б. Сивучья (17 июля 1996 г.). Параллельно оси они располагались у растений, собранных в июле в б. Богдановича (см. рис. 2л, м, 3б). При этом образцы с разным расположением спорангиев были генетически близки (дивергенция COI 0.8%). Можно предположить, что спорангии, закладывающиеся у верхушек ветвей, по мере апикального роста стихидиев спускаются ниже, а вверху образуются новые, в итоге формируются их параллельные ряды вдоль центральной оси. Такой способ формирования параллельных рядов спорангиев описан для типового вида рода *Laurencia* – *L. obtusa* (Hudson) J.V. Lamaroux (Nam, 2011). Различия в расположении спорангиев у особей, собранных в июле в разных бухтах зал. Петра Великого могут быть связаны с более низкой температурой воды в бухтах Агатова и Сивучья и разными сроками созревания растений.

Несмотря на глубокое изучение морфологии *S. kangjaewonii* (Nam, Sohn, 1994; Nam, 2011), сведения о его биологии в научной литературе отсутствуют, генетические данные получены не были. Наше исследование заполняет этот пробел.

В заливе Петра Великого *S. kangjaewonii* вегетирует круглый год, в течение которого сменяется несколько поколений. Основным лимитирующим фактором для роста и развития *S. kangjaewonii*, а также для формирования репродуктивных органов, является температура воды. Для роста талломов оптимальная температура составляет свыше 9°C. Для начала образования спор требуется температура не ниже 14°C, а для развития и созревания цистокарпов – выше 19°C. Диапазон температур, оптимальных для роста и размножения вида, позволяет охарактеризовать *S. kangjaewonii* как субтропический или низкобореально-субтропический вид (Кафанов, Кудряшов, 2000) и объясняет его преимущественное распространение на юге Кореи и в Китае (Nam, Sohn, 1994; Xia, 2011).

Полученные нами данные позволяют предположить, что факторами, ограничивающими массовое развитие вида в зал. Петра Великого, помимо температуры воды, могут быть отсутствие свободного субстрата в плотных зарослях

других водорослей и сильный водообмен. Изучая этот вид, мы исследовали многие участки зал. Петра Великого, но только в б. Богдановича *S. kangjaewonii* обитает в массовом количестве, поселяясь преимущественно на камнях и формируя плотные заросли. В других местообитаниях (бухты Агатова, Лазурная, Соболь (наши наблюдения), а также зал. Посьета (Перестенко, 1980) хондрофикус встречается единичными талломами, поселяющимися на других водорослях. Мы предполагаем, что массовое развитие *S. kangjaewonii* в б. Богдановича обусловлено ослабленной волновой нагрузкой на ее прибрежную мелководную часть, что обеспечивает выживаемость хрупких талломов вида и хороший прогрев воды, необходимый для их роста и размножения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека и животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белоус О.С., Титлянова Т.В., Титлянов Э.А. Морские растения бухты Троицы и смежных акваторий (залив Петра Великого, Японское море). Владивосток: Дальнаука. 2013. 264 с.
- Белоус О.С., Скрипцова А.В. История систематики трибы Laurencieae (Ceramiales, Rhodophyta) и проблемы исследования ее представителей в дальневосточных морях России // Биол. моря. 2024. Т. 60. № 2. С. 91–103.
- Гусарова И.С. Макрофитобентос залива Восток (Японское море) // Комаровские чтения. 1988. № 35. С. 11–25.

- Евсеева Н.В. Дополнения к флоре морских водорослей-макрофитов южного Сахалина и южных Курильских островов (Россия) // *Algologia*. 2016. № 26. С. 387–402.
- Кафанов А.И., Кудряшов В.А. Морская биогеография: Учебное пособие. М.: Наука. 2000. 176 с.
- Клочкова Н.Г. Флора водорослей-макрофитов Татарского пролива (Японское море) и особенности ее формирования. Владивосток: Дальнаука. 1996. 292 с.
- Коженкова С.И. Ретроспективный анализ морской флоры залива Восток Японского моря // *Биол. моря*. 2008. Т. 34. С. 159–174.
- Перестенко Л.П. Водоросли залива Посыета, новые для флоры Южного Приморья и советских берегов Японского моря // *Исследование фауны морей*. 1971. Т. VIII (XVI). С. 7–21.
- Перестенко Л.П. Водоросли залива Петра Великого. Л.: Наука. 1980. 232 с.
- Перестенко Л.П. Красные водоросли дальневосточных морей России. СПб.: Ольга. 1994. 331 с.
- Скрипцова А.В. Водоросли-макрофиты залива Петра Великого Японского моря // *Биота и среда запоев. территорий*. 2019. Т. 3. С. 14–57.
- Garbary D.J., Harper J.T. A phylogenetic analysis of the *Laurencia* complex (Rhodomelaceae) of the red algae // *Cryptogam. Algol.* 1998. V. 19. P. 185–200.
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland. Galway. 2024. Available at <http://www.algaebase.org>. Accessed October, 2024.
- Kumar S., Stecher G., Li M. et al. MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms // *Mol. Biol. Evol.* 2018. V. 35. P. 1547–1549. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>
- McDermid K.J. *Laurencia* from the Hawaiian Islands: key, annotated list and distribution of the species // *Taxonomy of economic seaweeds*. Abbott I.A., Ed. La Jolla: California Sea Grant College Program, University of California. 1988. V. 2. P. 231–247.
- Minh B.Q., Schmidt H.A., Chernomor O. et al. IQ-TREE2: new models and efficient methods for phylogenetic inference in the genomic era // *Mol. Biol. Evol.* 2020. V. 37. P. 1530–1534. <https://doi.org/10.1093/molbev/msaa015>
- Nam K.W. Morphology of *Chondrophycus undulata* and *C. parvipapillata* and its implications for the taxonomy of the *Laurencia* (Ceramiales, Rhodophyta) complex // *Eur. J. Phycol.* 1999. V. 34. P. 455–468. <https://doi.org/10.1080/09541449910001718811>
- Nam K.W. Phylogenetic re-evaluation of the *Laurencia* complex (Rhodophyta) with a description of *L. succulenta* sp. nov. from Korea // *J. Appl. Phycol.* 2006. V. 18. P. 679–697. <https://doi.org/10.1007/s10811-006-9073-3>
- Nam K.W. Algal flora of Korea. Rhodophyta: Florideophyceae: Ceramiales: Rhodomelaceae: *Laurencia*, *Chondrophycus*, *Palisada*, *Chondria*. Incheon: National Institute of Biological Resources. 2011. V. 4. № 3. 198 p.
- Nam K.W., Maggs C.A., Garbary D.J. Resurrection of the genus *Osmundea* with an emendation of the generic delineation of *Laurencia* (Ceramiales, Rhodophyta) // *Phycologia*. 1994. V. 33. P. 384–395. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-33-5-384.1>
- Nam K.W., Sohn C.H. *Laurencia kangjaewonii* sp. nov. (Ceramiales, Rhodophyta) from Korea // *Phycologia*. 1994. V. 33. P. 397–403. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-33-6-397.1>
- Saito Y. Studies on Japanese species of *Laurencia*, with special reference to their comparative morphology // *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 1967. V. 15. P. 1–81.
- Saunders G.W. Applying DNA barcoding to red macroalgae: a preliminary appraisal holds promise for future applications // *Philos. Trans. R. Soc. B*. 2005. V. 360. P. 1879–1888.
- Saunders G.W., Moore T.E. Refinements for the amplification and sequencing of red algal DNA barcode and RedToL phylogenetic markers: a summary of current primers, profiles and strategies // *Algae*. 2013. V. 28. P. 31–43.
- Wynne M.J., Serio D., Cormaci M., Furnary G. The species of *Chondrophycus* and *Laurencia* (Rhodomelaceae, Ceramiales) occurring in Dhofar, the Sultanate of Oman // *Phycologia*. 2005. V. 44. P. 497–509. [https://doi.org/10.2216/0031-8884\(2005\)44\[497:TSOCAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2216/0031-8884(2005)44[497:TSOCAL]2.0.CO;2)
- Xia B. Flora Algarum Marinarum Sinicarum. Tomus 2. Rhodophyta (№ 7) Ceramiales: Rhodomelaceae. Beijing: Science Press. 2011. 212 p. (На кит. яз.).

**Morphological and Biological Features of the Red Alga *Chondrophycus kangjaewonii*
(K.W. Nam & C.H. Sohn) D.J. Garbary & J.T. Harper
(Ceramiales, Rhodomelaceae) Recorded for the First Time
from the Russian Coast**

© 2025 O. S. Belous*, A. V. Skriptsova

*Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041 Russia*

**e-mail: ksu_bio@mail.ru*

The red alga *Chondrophycus kangjaewonii* (K.W. Nam & C.H. Sohn) D.J. Garbary & J.T. Harper recorded from Peter the Great Bay (Sea of Japan) is the first evidence for the presence of the genus *Chondrophycus* (J. Takida & Y. Saito) Garbary & J.T. Harper in coastal waters of Russia. The morphology of *C. kangjaewonii* from Peter the Great Bay is described in detail. Genetic data and information on the biology of the species are here presented for the first time.

Keywords: Laurencia pinnata, Chondrophycus kangjaewonii, distribution, biology, Peter the Great Bay