

УДК 639.294.053.7:582.272.46(265.54)

Т.Н. Крупнова\*

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,  
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ЛАМИНАРИИ (*SACCHARINA JAPONICA*) С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ В ДВА ГОДА

Ламинария японская (*Laminaria japonica*), недавно переименованная в *Saccharina japonica*, относится к флюктуирующим короткоцикловым быстрорастущим видам, ее жизненный цикл завершается за два года, а репродуктивный потенциал определяется одним поколением. Как правило, такие виды имеют высокую плодовитость и значительные колебания урожайности поколений, что соответственно отражается на состоянии их запасов и добычи. Практика прогнозирования запасов ламинарии сводится к проведению ежегодной предпутинной учетной съемки, в результате которой дается прогноз с заблаговременностью в несколько месяцев. При этом принято характеризовать год как «урожайный» или «неурожайный» по количеству второгодних растений весной с тем, чтобы к июню этого же года — периоду начала промысла водоросли — представить рекомендации по объемам ее добычи. При учетах запасов первогодней ламинарии имеется возможность спрогнозировать урожайность второгодней товарной ламинарии с опережением в один год. Однако часто необходимо иметь возможность прогнозировать запасы этой водоросли с заблаговременностью в два года. Это важно как для выявления причин их флюктуации, так и для планирования работы перерабатывающих предприятий.

**Ключевые слова:** ламинария, прогноз, запасы, зооспора, температура, оспоривание.

**Krupnova T.N.** Forecasting of the laminaria *Saccharina japonica* stock with the lead time of two years // Izv. TINRO. — 2012. — Vol. 170. — P. 30–44.

New method of forecasting the laminaria *Saccharina japonica* stock with the lead time of two years is described. The method is based on correlation between water temperature in autumn and number of the laminaria sporelings in the next spring: the longer the autumn period with the temperature optimal for settling the laminaria sporelings, the more their abundance in spring. The years with high and low production of laminaria are determined for certain areas at Primorye coast (Japan Sea). Model of the laminaria commercial stock formation is developed, with autumn temperature as the main predictor.

**Key words:** laminaria, forecasting, stock, zoospore, water temperature, sporeling.

#### Введение

За всю историю изучения ламинарии *Saccharina japonica* у берегов Приморья, начиная с 1928 г., отмечалось, что ее запасы подвергаются значительным колебаниям. Годовая периодичность связана с двухлетним жизненным циклом водоросли: второгодние и первогодние растения обычно произрастают раздельно и, будучи выловленными

\* Крупнова Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: [krupnova@tinro.ru](mailto:krupnova@tinro.ru).

Krupnova Tatiana N., Ph.D., Leading researcher, e-mail: [krupnova@tinro.ru](mailto:krupnova@tinro.ru).

добытчиками или разрушившись вследствие окончания жизненного цикла, второгодние заросли оставляют субстрат пустым. На следующий год осенью зооспоры ламинарии оседают на него и первогодние слоевища появляются на этом пустом участке через год, что обуславливает последовательную смену занятости субстрата: «пустая площадь» — «площадь с ламинарией».

Что же касается состояния суммарных запасов ламинарии у всего побережья Приморья, то периодичность их сокращения большинство исследователей связывают, как правило, с перепромыслом (Суховеева, 1967, 1969; Кулепанов и др., 2002). Однако еще в 1936 г. Е.А. Кардакова предположила, что наблюдается действие еще какой-то причины, в значительной степени подрывающей сырьевые запасы ламинарии. Весьма вероятно, что это возможное изменение гидрологического режима Приморья, что сказывается на образовании женских половых продуктов на стадии гаметофита (Кардакова, 1937).

Версия Е.А. Кардаковой представляется правдоподобной, поскольку экспериментальным путем установлено, что резкие перепады температуры воды в осенний период вызывают повышенную смертность ламинарии на ранних стадиях ее развития (Тзен Чен Куй и Ву Чжао Юань, 1956; Крупнова, 1985). Чем длиннее период благоприятных температур для развития этих стадий ламинарии осенью, тем обильнее и дружнее будет прорастание ювенильных спорофитов весной как на искусственных субстратах при культивировании, так и в природе, что является залогом получения урожая на плантациях и стабильности природных запасов (Крупнова, Димитриев, 1990).

Ламинария японская — бореальный вид, и для ее произрастания благоприятны температуры воды не выше 16–18 °С, хороший водообмен со скоростями течений не менее 30–40 см/с, насыщенность биогенными элементами, в частности концентрация нитратов не менее 15–20 мкг/л (Тзен Ченкуй и Ву Чжао Юань, 1956; Hasegava, 1971, 1976; Крупнова, 2002а).

В северо-западной части Японского моря все эти условия формируются в зоне холодного Приморского течения, где ламинария достигает хороших размерно-массовых показателей. Однако в те годы, когда происходит разрыв Приморского течения в результате нагона теплых мористых вод или, наоборот, подъема холодных глубинных водных масс после сгонно-нагонных явлений, наблюдается изменение в многолетних показателях массы растений и их спороношении (Крупнова, 2002б).

Цель данной статьи — рассмотреть изменение урожайности ламинарии в зависимости от температурного режима вод в период развития ранних стадий ламинарии — зооспор и гаметофитов, а также определить гидрологические и синоптические ситуации, при которых формируются урожайные или неурожайные поколения водоросли.

### Материалы и методы

Материал собирался в побережье Приморья от мыса Золотого до мыса Поворотного во время водолазных съемок с сентября по декабрь в 2000–2006 гг., а также на стационарных полигонах, организованных в среднем Приморье на участках ООО «РК Морьяк Рыболов» (от мыса Низменного до мыса Дальнего) и на участках р/з «Валентин» (от мыса Туманного до мыса Красная Скала), в северном Приморье — на участках ООО «Прибой» (от мыса Олимпиады до бухты Соболевка) с 1975 по 2006 г. С августа по ноябрь на полигонах, по возможности ежедекадно, отбирались пробы второгодней ламинарии в количестве 50 экз., проводилось их взвешивание, измерялась длина, ширина пластин, площадь спороносной ткани. Вычислялись коэффициенты покрытия слоевищ спороносной тканью (К) из отношения площади спороносной ткани к их общей площади. Полученные данные значений коэффициентов покрытия сравнивались с их среднемноголетними показателями для каждого района.

Пробы рассады ламинарии (проростков) отбирались водолазами с 1 м<sup>2</sup> в марте-мае, затем, по возможности ежемесячно, до достижения слоевищами товарных качеств. Во время рейсов промерено около 1000 растений ламинарии, на стационарном полигоне в побережье РК «Морьяк Рыболов» — 600.

Одновременно в зоне произрастания ламинарии проводилось измерение температуры воды, как поверхностной, так и на дне — на глубине 15–20 м прибором «Поток», технические данные которого позволяют фиксировать температуру воды каждые 30 мин. Анализ сезонных изменений температуры воды проведен по материалам гидрометеорологических станций для осенних периодов 1980–2002 гг. Также использованы данные по температуре воды с гидрологических станций водорослевых хозяйств в прибрежье Приморья в бухтах Опричник, Кит, Валентина, Корявая и Рифовая. Статистическая обработка полученных материалов выполнена с использованием программы Statistica.

### Результаты и их обсуждение

Анализ данных по срокам появления рассады ламинарии на плантациях в зависимости от температуры воды в период оспоривания субстратов позволил выявить следующую закономерность: чем длиннее период с благоприятными для развития зооспор и гаметофитов значениями температуры воды осенью (диапазон 15–8 °С), тем раньше появляются молодые проростки (рассада) весной следующего года (табл. 1).

Таблица 1  
Сроки появления рассады ламинарии на плантации в прибрежье среднего Приморья (бухта Кит) в зависимости от температурного режима в период оспоривания

Table 1  
Timing of the laminaria sporelings appearance at plantation in the Kit Bay (middle Primorye) in dependence on the temperature in the period of its zoospores settling

Год оспоривания	Длительность периода со значениями температуры воды 15–8 °С осенью, дни	Время появления рассады на субстратах-поводцах
1980	9	Середина января 1981 г.
1981	30	Середина декабря 1982 г.
1982	25	Конец декабря 1983 г.
1983	7	Начало февраля 1984 г.

Такая же закономерность была обнаружена и для ламинарии, произрастающей в природных условиях: чем длиннее период с благоприятными температурами для развития ранних стадий осенью предыдущего года, тем раньше и обильнее появлялась рассада весной следующего года (табл. 2).

Таблица 2  
Выживаемость рассады ламинарии весной в зависимости от длительности периода со значениями температуры от 15 до 8 °С в осенний период предыдущего года

Table 2  
Survival of the laminaria sporelings in spring in dependence on duration of the period with water temperature from 15 to 8 °С in preceding autumn

Место сбора материала	Год оспоривания	Длительность периода с температурами 15–8 °С в год оспоривания, дни	Время отбора проб рассады	Количество рассады, экз./м <sup>2</sup>
Бухта Кит	1980	10	25 апреля 1981	Единично
Бухта Кит	1983	9	1 марта 1984	Единично
О. Опасный	1991	32	4 марта 1992	1700
О. Опасный	1992	43	6 марта 1993	2300
Мыс Олимпиады	2000	25	28 апреля 2001	1302
Мыс Олимпиады	2001	10	27 апреля 2002	123
Мыс Низменный	2004	26	23 апреля 2005	1404
Мыс Низменный	2005	5	25 апреля 2006	Единично

Регрессионный анализ показал, что связь между количеством проростков и длительностью периода благоприятных температур положительна и достоверна на 99,99 %-ном доверительном уровне. Она удовлетворительно описывается линейным уравнением  $N = 67,870 \cdot D - 502,391$ , где  $D$  — длительность периода со значениями температуры 15–8 °С в осенний период, дни;  $N$  — количество проростков ламинарии, появившееся весной следующего года, экз./м<sup>2</sup>.

Коэффициент корреляции между переменными достигает 0,99, а соответствующий коэффициент детерминации показывает, что межгодовая вариация количества проростков  $N$  на 98 % определяется длительностью периода  $D$  (рис. 1).

В начале линии регрессии с осью абсцисс количество проростков ( $N$ ) равно нулю, количество дней с благоприятной температурой воды ( $D$ ) — 7,4. Следовательно, при  $D$ , равной примерно одной неделе, выживаемость практически равна нулю. Иными словами, для выживания рассады нужно не менее 8 дней с температурой 15–8 °С в осенний период. При большем числе таких дней выживаемость линейно нарастает в соответствии с уравнением  $N = 67,870 \cdot D - 502,391$ , по которому можно прогнозировать плотность проростков по числу дней  $D$ .

Лимитирующими факторами для роста макрофитов являются наличие достаточного количества света, биогенов и благоприятная температура воды, каждый из которых на разных стадиях развития имеет свою степень значимости. Для взрослых растений (спорофитов) наиболее значимый фактор — наличие достаточного количества биогенных элементов, особенно азота и фосфора. В местах с их повышенным содержанием водоросли достигают наибольшего расцвета (Петров, 1975). Для побережья Приморья содержание основных биогенных элементов в открытых районах достаточно для хорошего роста ламинарии (Крупнова, 2002б). Также водоросли в побережье Приморья не испытывают недостатка в свете. Прозрачность воды, измеренная диском Секки на участках побережья от мыса Поворотного до мыса Золотого, доходит до 20 м, а в среднем составляет 8–12 м, что обеспечивает поступление света к пластинам водорослей и способствует их развитию (Гриних, Сарочан, 1968; Luning, Neushul, 1978). В период сильных дождей и увеличения стока рек, вызывающего смыв материковой

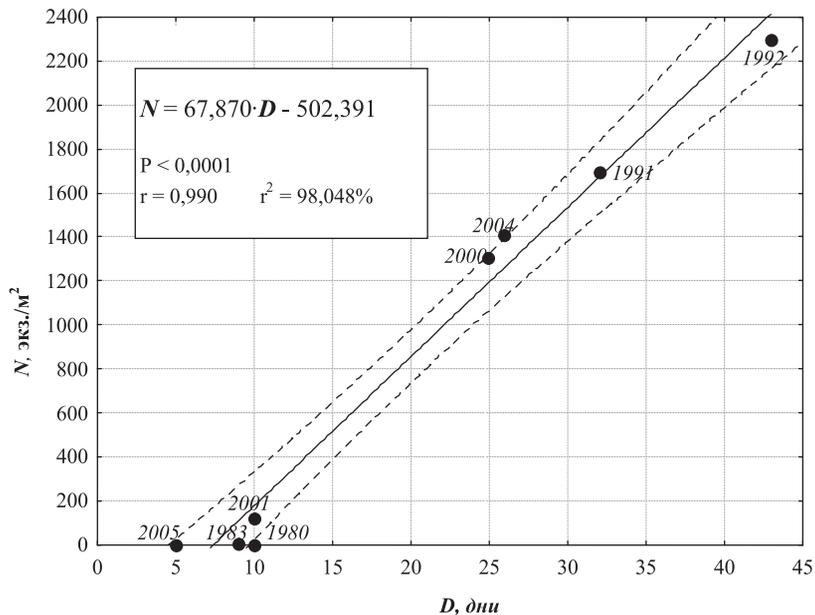


Рис. 1. Результаты регрессионного анализа длительности периода с благоприятными значениями температуры воды для развития зооспор и гаметофитов ( $D$ ) и количества проростков ( $N$ )

Fig. 1. Relationship between duration of the autumn period with water temperature favourable for the laminaria zoospores and gametophytes development ( $D$ ) and number of sporelings in the next spring ( $N$ )

почвы в море, прозрачность воды в прибрежье уменьшается до 2–3 м, но эти явления кратковременны и не занимают более 10–15 дней.

Что касается развития ранних микроскопических стадий ламинарии (зооспор, гаметофитов и ювенильных спорофитов), то для них основной лимитирующий фактор — температура воды. Диапазон температур, которые считаются «температурами размножения», намного уже общего температурного диапазона обитания вида. Относительная консервативность температур размножения четко коррелирует с зональным типом ареала. В биогеографической литературе эту эмпирически установленную закономерность именуют правилом Ортона (Кафанов, Кудряшов, 2000). Температурами размножения для ламинарии являются значения от 15 до 8 °С, которые формируются в сентябре-октябре, когда происходит осеннее похолодание воды.

Максимальные значения развития репродуктивной спороносной ткани ламинарии приходятся как раз на период значений температуры воды, благоприятной для развития выходящих из нее зооспор и дальнейшего развития гаметофитов и рассады, что обеспечивает ежегодную воспроизводимость вида (рис. 2).

Именно при таких значениях температуры воды осуществляется выращивание зооспор и гаметофитов до стадии ранней рассады в акватронах для одногодичного режима получения товарной ламинарии (Luning, Neushul, 1978; Крупнова и др., 1983; Крупнова, Димитриев, 1990; Luning, 1990; Крупнова, Темных, 1991). Это позволяет ускорить развитие ранних стадий и получить жизнестойкую рассаду в более ранние сроки по сравнению с естественными условиями. В случае проведения оспоривания субстратов для выращивания ламинарии на плантациях в море при более высоких или низких температурах происходит гибель гаметофитов (Крупнова, 1985; Крупнова, Турабжанова, 2006).

В разные годы длительность периодов с температурой 15–8 °С сильно различается. Так, осенью 2005 г. температура воды в прибрежье среднего Приморья на глубине 15 м, в зоне обитания ламинарии, была крайне неблагоприятной для развития ранних стадий ламинарии. Только за двое суток, с 13 по 15 сентября, температура воды резко понизилась с 16 до 10 °С, а затем, после небольшого подъема до 12 °С на один день, ее значения снизились до практически летальных показателей — 8–4 °С — и оставались на таком уровне до конца октября (рис. 3).

Период с оптимальными температурами в 2005 г. составлял всего 5 дней. В 2004 г. в том же районе такой же период длился 26 дней. При температуре от

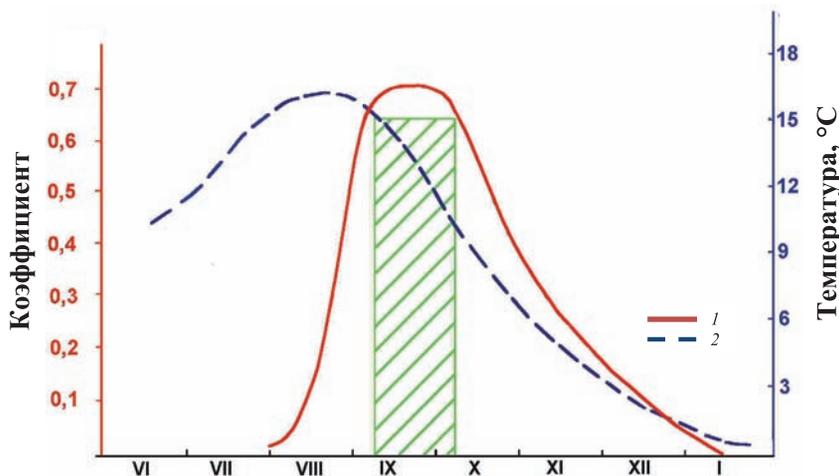


Рис. 2. Значения коэффициента покрытия слоевищ спороносной тканью (1) и температуры воды (2) по многолетним данным. Заштрихован оптимальный период для проведения оспоривания

Fig. 2. Year-to-year changes of the coefficient of laminaria blades cover by sporogenous tissue (1) on the background of water temperature (2). The period optimal for settling of zoospores is shaded

10 до 6 °С гаметофиты развиваются очень медленно, но в 2005 г. и этот период продолжался всего 14 дней (табл. 3). К тому же в период прорастания зооспор наблюдались внутрисуточные скачки температуры воды с размахом 2–3 °С (рис. 4), что, как правило, приводит к замедлению развития гаметофитов (Крупнова, Темных, 1991).

Таким образом, температура воды в осенний период 2005 г. была крайне неблагоприятной для реализации значительной части спорозонной ткани, в связи с чем в

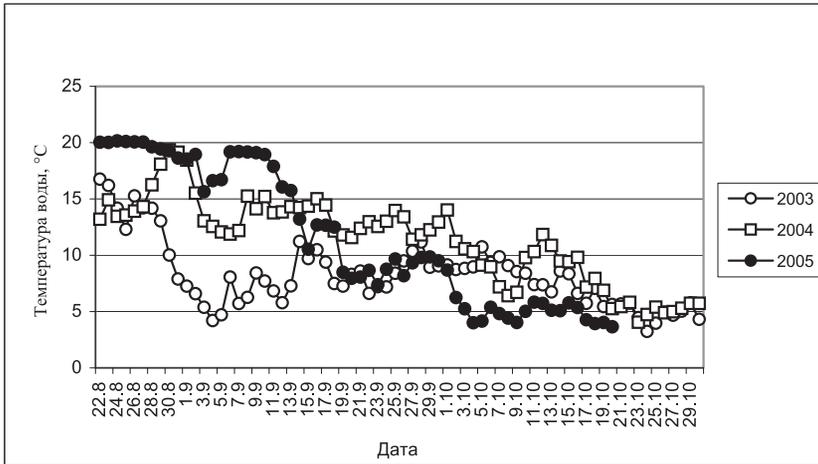


Рис. 3. Среднесуточные изменения придонной температуры воды в прибрежье среднего Приморья

Fig. 3. Daily mean temperature at the sea bottom at the central part of Primorye coast

Таблица 3

Длительность периодов с различной придонной температурой в период с 1 сентября по 30 октября, дни

Table 3

Duration of the periods with certain temperature at the sea bottom in the period from September 1 to October 30

Год	Диапазон температуры воды, °С		
	10–14	6–10	< 6
2003	5	21	18
2004	26	12	11
2005	5	14	28

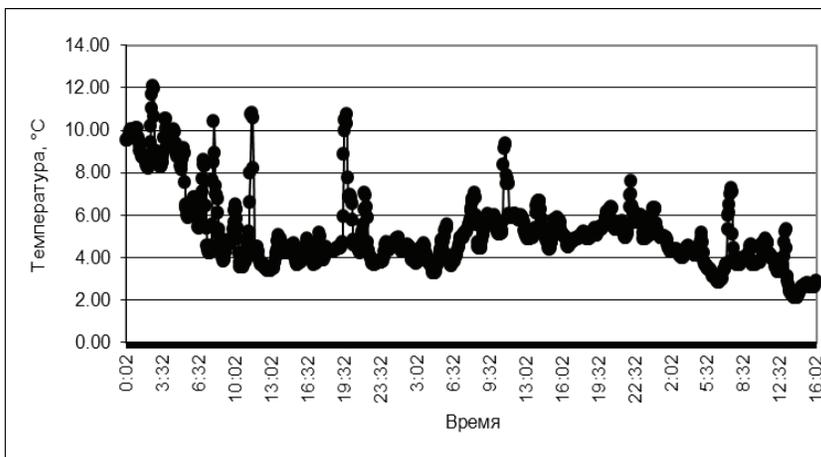


Рис. 4. Внутрисуточные изменения придонной температуры воды с 1 по 20 октября 2005 г.

Fig. 4. Diurnal fluctuations of water temperature at the sea bottom in October 1–20, 2005

2006 г. наблюдалось более позднее и малочисленное появление рассады в конце апреля — начале мая, плотность ее произрастания составляла всего 10–200 экз./м<sup>2</sup> и менее, а частота встречаемости осенью уже более взрослых первогодних растений составляла всего около 8,9 %, что является самым низким показателем за 5 последних лет (рис. 5).

Первогодняя ламинария имела небольшие размеры, максимальная длина ее в начале сентября на севере Приморья составляла 95 см, минимальная — 5 см. Средняя масса одного слоевища — 28 г. В среднем Приморье в середине октября максимальная длина первогодних пластин составляла 81 см, минимальная — 18 см, средняя масса одного слоевища — 47 г. В южном Приморье в начале ноября максимальная длина первогодних растений была 52 см, минимальная — 7 см, средняя масса — 19,4 г. Как правило, поселения первогодней ламинарии были приурочены к мысам, плотность их произрастания колебалась от единичных растений до 132 экз./м<sup>2</sup>. Проективное покрытие составляло не более 5–30 %. Эти показатели значительно уступают среднелетним данным, что позволило прогнозировать низкий запас второгогодней ламинарии на 2007 г.

Таким образом, температурный режим воды в осенний период 2005 г. был крайне неблагоприятен для прорастания зооспор и развития гаметофитов, в связи с чем в 2006 г. появление рассады ламинарии было поздним и малочисленным, а количество первогодних слоевищ оказалось минимальным за все годы наблюдений. На этом фоне выгодно выделялась рассада ламинарии, появившаяся на участках побережья от мыса Часового до мыса Дальнего, в результате оспоривания донных субстратов, проведенного именно в тот короткий период, когда наблюдалась оптимальная температура для развития зооспор и гаметофитов (табл. 4).

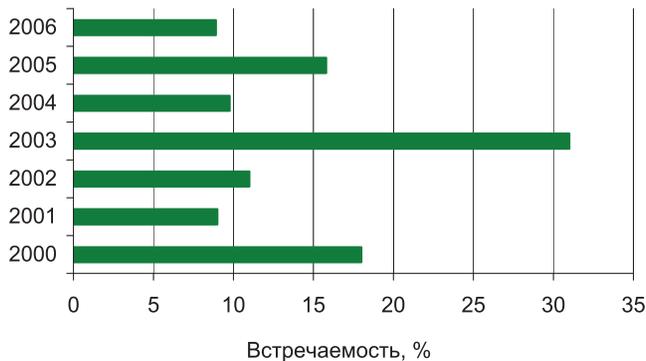


Рис. 5. Встречаемость первогодней ламинарии в побережье Приморья в осенний период  
Fig. 5. Density of the young plants of laminaria at Primorye coast in the first autumn of their life

Таблица 4

Плотность рассады ламинарии в 2006 г. на участках с восстановленными зарослями в зависимости от сроков оспоривания и температуры воды

Table 4

Density of the laminaria sporelings in restored fields of laminaria in dependence on timing of zoospores settling and water temperature

№ участка	Сроки проведения оспоривания в 2005 г.	Значения придонной температуры воды в период оспоривания, °С	Глубина размещения маточных слоевищ, м	Общая оспоренная площадь, м <sup>2</sup>	Плотность рассады, экз./м <sup>2</sup>	
					Апрель	Октябрь
1	15–17 сентября	11–13	1–6	20000	65	5
2	26–30 сентября	7–10	3–6	30000	8	Единично
3	1–12 октября	3–5	2–5	70000	Единично	–

На донных субстратах, оспоренных в период с 15 по 17 сентября при благоприятных температурах воды, рассада появилась в начале марта 2006 г., плотность ее к началу апреля достигала 65 экз./м<sup>2</sup>, в то время как на более северных участках, где рассада должна была появляться от природных маточных слоевищ, ее к этому времени или вообще не было, или встречались единичные экземпляры. Длина этой оспоренной в благоприятный период рассады к концу октября 2006 г. составляла максимально 178 см, минимально 54 см, средняя масса была равна 131 г (у природной в это время средняя масса составляла 28 г). Общая площадь восстановленного поля составляла 2 га.

Таким образом, можно считать, что длительность периода с благоприятными температурами для развития зооспор и гаметофитов осенью является залогом урожайного или неурожайного года товарных слоевищ через два года.

На основании этих представлений проанализирована температура воды в прибрежье Приморья в осенний период с 1980 по 2002 г., определена длительность периодов с благоприятными значениями температуры воды для развития гаметофитов и дана характеристика урожайным и неурожайным годам.

Так, для среднего Приморья особенно неблагоприятными для развития микроскопических стадий ламинарии были 1980, 1983 и 1998 гг., когда осенью длительность периодов с температурами от 15 до 8 °С составляла 10 дней и менее. Наиболее благоприятными по температурным условиям были 1986, 1988, 1992, 1994 и 1995 гг., когда длительность периодов с необходимыми значениями для развития зооспор и гаметофитов составляла более 40 дней (рис. 6).

Для северного Приморья особенно неблагоприятными для развития микроскопических стадий ламинарии были 1998 и 2001 гг., когда осенью длительность периодов с температурами от 15 до 8 °С составляла менее 10. Наиболее благоприятными по температурным условиям были 1981, 1988–1995 и 2002 гг., когда длительность периодов с необходимыми значениями для развития зооспор и гаметофитов составляла более 40 дней (рис. 7).

Для южного Приморья (зал. Петра Великого) годами, обусловившими формирование неурожайных поколений, т.е. с короткими периодами благоприятных температур для прорастания зооспор и гаметофитов (до 10 дней), были 1980, 1983, 1988 и 2000 гг. При этом значительно увеличивалось количество лет с относительно неблагоприят-

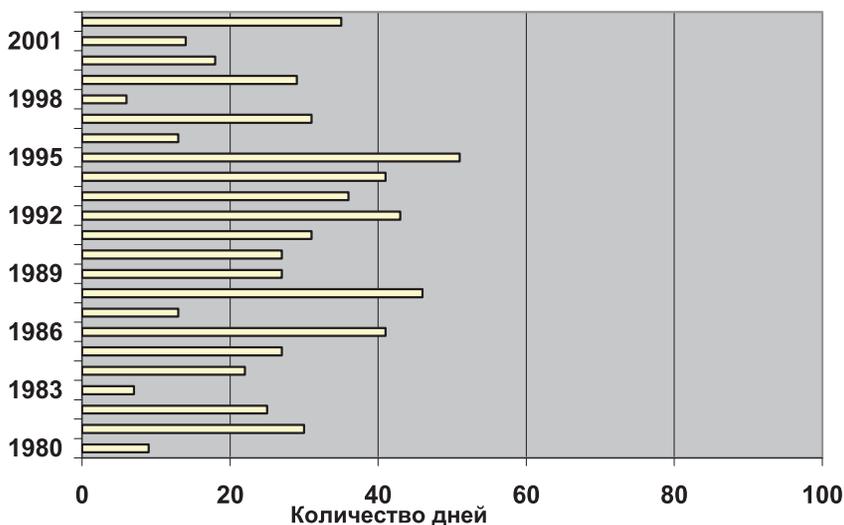


Рис. 6. Длительность периодов с благоприятными для прорастания зооспор и развития гаметофитов значениями температуры воды от 15 до 8 °С в осенний период в средней части прибрежья Приморья

Fig. 6. Duration of the periods with water temperature favorable for the zoospores settling and gametophytes development (from 15 to 8 °С) at middle Primorye in autumn

ными условиями для развития микроскопических стадий (до 20 дней) — 1981, 1984, 1985, 1987, 1990, 1993, 1996 и 1999 гг. Благоприятными годами, когда длительность периодов с благоприятными значениями температуры составляла 40 дней и более, были 1986, 1992, 1995 и 2001 (рис. 8).

Такая частота встречаемости неблагоприятных осенних температур для воспроизводства ламинарии в зал. Петра Великого вполне объяснима, поскольку ламинария — бореальный вид, а залив находится на окраине ее ареала.

Известно, что взрослые спорофиты ламинарии менее требовательны к температурным условиям. Если резкие скачки температуры в 2–3 °С во время прохождения стадии гаметофита задерживают ее развитие, а более широкий размах до 5–8 °С приводит к их гибели, то взрослые спорофиты практически не реагируют на такие изменения.

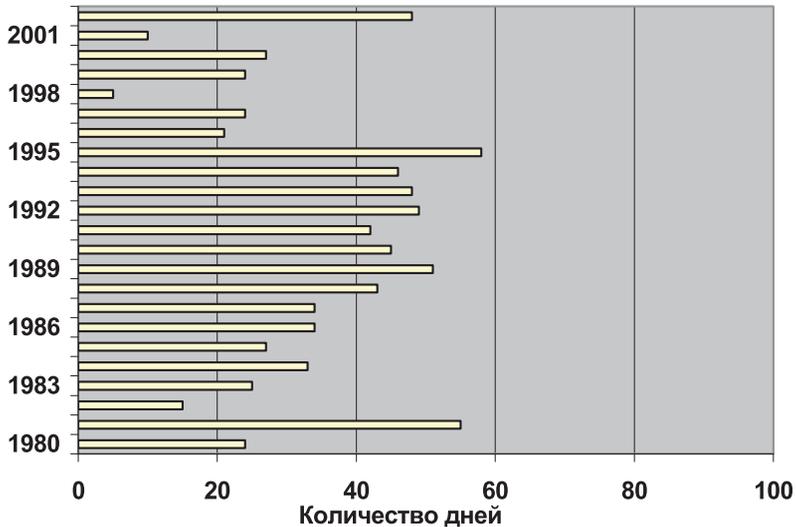


Рис. 7. Длительность периодов с благоприятными для прорастания зооспор и развития гаметофитов значениями температуры воды от 15 до 8 °С в осенний период в северной части побережья Приморья

Fig. 7. Duration of the periods with water temperature favorable for the zoospores settling and gametophytes development (from 15 to 8 °C) at north Primorye in autumn

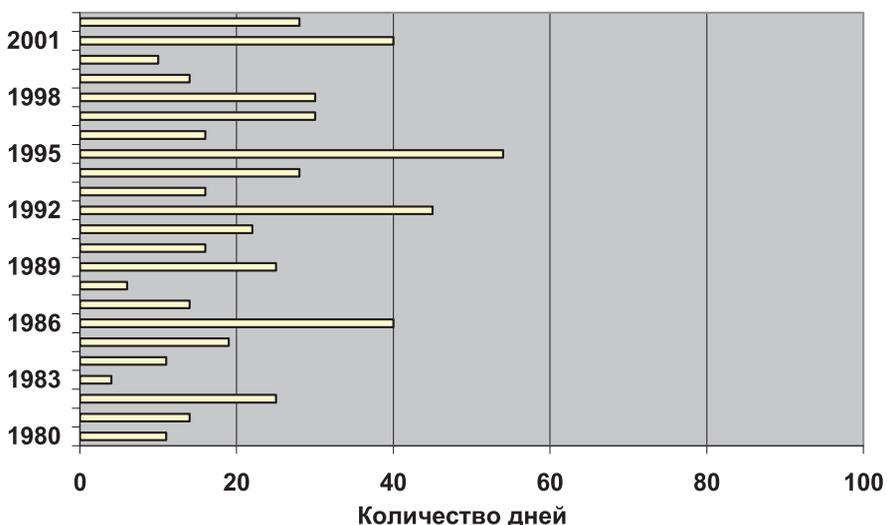


Рис. 8. Длительность периодов с благоприятными для прорастания зооспор и развития гаметофитов значениями температуры воды от 15 до 8 °С осенью в зал. Петра Великого

Fig. 8. Duration of the periods with water temperature favorable for the zoospores settling and gametophytes development (from 15 to 8 °C) in Peter the Great Bay in autumn

Ламинария — холодолюбивый вид, и рост ее спорофитов (взрослых растений) происходит при температурах ниже 18 °С. Снижение темпа их роста наблюдается уже при температуре 16 °С, поэтому другой важный фактор для формирования урожайности ламинарии — температурные условия в летний период. Для роста спорофитов благоприятны короткие периоды с температурами воды выше 16–18 °С. Известно, что при прогреве воды свыше 18 °С в течение более чем 30 дней происходит разрушение слоевищ ламинарии на треть, при длительности такого периода свыше 60–70 дней слоевища разрушаются полностью вплоть до черешка (Ли Хуанцзы, 1960; Крупнова, 1985).

Исходя из этих представлений следует ожидать, что минимальная урожайность ламинарии должна наблюдаться в те годы, когда осенью длительность периодов с благоприятными значениями температуры воды для прорастания зооспор и развития гаметофитов окажется минимальной, а летом периоды с теплой прогретой водой свыше 16–18 °С — длительными.

Если на графики (рис. 6–8), характеризующие длительность осенних периодов со значениями температуры воды от 15 до 8 °С, добавить данные о длительности периодов со значениями температуры воды выше 16–18 °С летом, то будет получена более полная характеристика условий, формирующих урожайное или неурожайное поколение ламинарии. При этом сочетание коротких периодов с температурами от 15 до 8 °С осенью (менее 10–15 дней) и длинных периодов с температурами выше 16–18 °С летом в следующий год (более 30 дней) приведет к появлению чрезвычайно неурожайного поколения. И наоборот, сочетание длинных периодов с температурами от 15 до 8 °С осенью (более 30–40 дней) и коротких периодов с температурами выше 16–18 °С летом следующего года (около 30 дней и менее) станет предпосылкой появления максимально урожайного поколения.

Чрезвычайно неурожайным для ламинарии в среднем Приморье был 1985 г. Температурный режим для всего жизненного цикла этого поколения сложился следующим образом: благоприятный период для прорастания зооспор в 1983 г. составлял менее 10 дней, в следующем 1984 г. спорофиты первогогодней ламинарии испытывали влияние «теплой» воды в течение более 50 дней, а второгодние растения находились в «теплой» воде на протяжении 40 дней. Неурожайным был также 1998 г. Наиболее урожайным было поколение 1987 г. (период с благоприятными температурами для развития зооспор в 1985 г. составлял около 25 дней, «тепловодный» период для первогогодних растений — всего 13 дней и для второгогодних — 24 дня) (рис. 9).

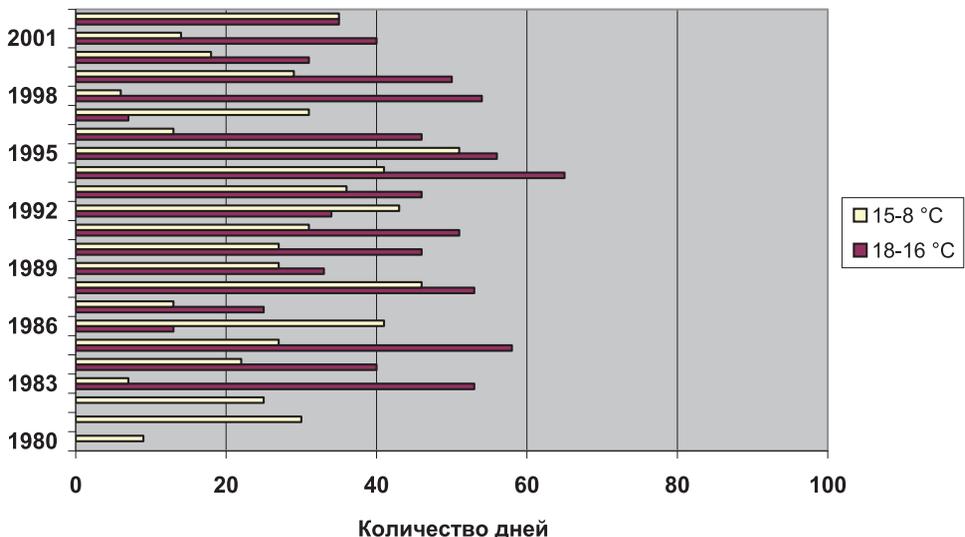


Рис. 9. Характеристика температурных условий для формирования урожайных и неурожайных годов ламинарии в среднем Приморье

Fig. 9. Temperature conditions for formation of strong and weak year-classes of the laminaria *Saccharina japonica* at middle Primorye

Для северного Приморья урожайным был 1983 г. (период для прорастания зооспор в 1981 г. составлял более 50 дней, на следующий 1982 г. вообще не было температуры выше 16 °С, в 1983 г. уже второгодние растения были под влиянием «теплых вод» в течение всего 34 дней), а также 1997 г. (рис. 10).

Поскольку слоевища ламинарии начинают разрушаться при температуре воды, равной 18 °С, то очевидно, что для среднего и особенно для северного побережья Приморья лимитирующим фактором должно быть количество дней с оптимальной температурой воды осенью, позволяющее реализоваться зооспорам репродуктивной ткани, в то время как летние термические условия для роста спорофитов в этих районах, как правило, благоприятны.

В зал. Петра Великого температурные условия как для развития микроскопических стадий, так и для роста спорофита ламинарии часто неблагоприятны. К особенно неблагоприятным можно отнести 1985, 1990, 2002 гг., поскольку период для развития зооспор и гаметофитов осенью в эти годы был минимальным — всего 7–10 дней, а первогодняя ламинария испытывала прогрев воды выше 16–18 °С на протяжении 50–60 дней. И совсем плохим был 1998 г., когда первогодняя ламинария разрушилась из-за очень длинного периода (около 100 дней) с неблагоприятными температурами, равными 16–18 °С и более. Относительно благоприятными для этого района были 1987 и 1988 гг., когда осенью необходимые температуры для зооспор и гаметофитов наблюдались на протяжении от 20 до 40 дней, а первогодние спорофиты практически не разрушались из-за короткого «тепловодного» периода (рис. 11).

Таким образом, для среднего и северного Приморья урожайность ламинарии лимитируется в основном длительностью осенних периодов с благоприятными температурами для развития ее микроскопических стадий, поскольку летом температура воды, как правило, не достигает летальных значений для разрушения взрослых растений-спорофитов. Для зал. Петра Великого формирование урожайности ламинарии определяется температурным режимом как осенью, так и летом.

Как было показано выше, межгодовая вариация количества появляющихся проростков ламинарии весной на 98 % определяется количеством дней со значениями температуры 15–8 °С в осенний период. Регрессионный анализ показал, что связь между переменными положительна и достоверна на 99,99%-ном доверительном уровне. Она удовлетворительно описывается линейным уравнением  $N = 67,870 \cdot D - 502,391$ .

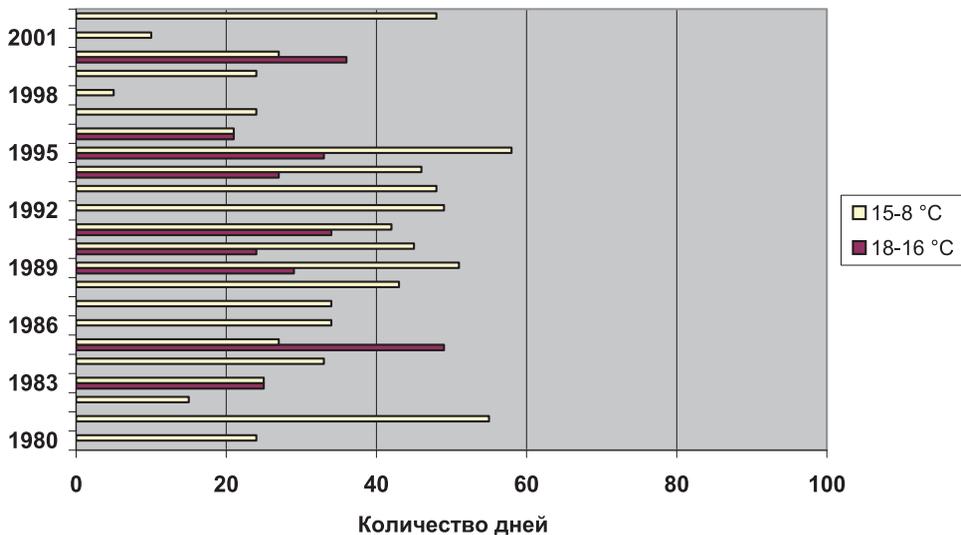


Рис. 10. Характеристика температурных условий для формирования урожайных и неурожайных годов ламинарии в северном Приморье

Fig. 10. Temperature conditions for formation of strong and weak year-classes of the laminaria *Saccharina japonica* at north Primorye

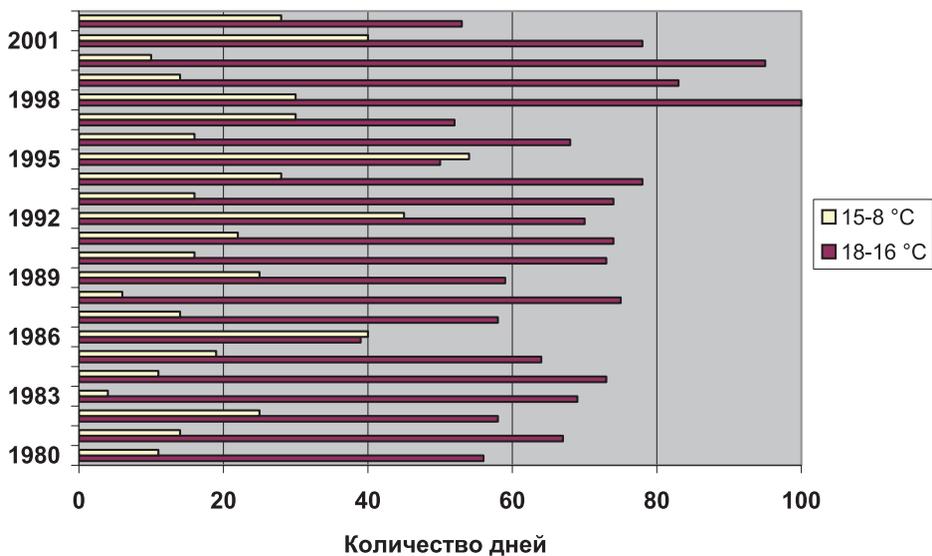


Рис. 11. Характеристика температурных условий для формирования урожайных и неурожайных годов ламинарии в южном Приморье

Fig. 11. Temperature conditions for formation of strong and weak year-classes of the laminaria *Saccharina japonica* in south Primorye

Имея данные по температуре воды в осенний период в том или ином районе, возможно определить количество рассады на следующий год. Далее, оперируя выживаемостью ламинарии на разных стадиях, а также зная площадь и среднюю навеску второгодней ламинарии, можно прогнозировать ее запас в каждом районе с опережением в два года.

Для расчета запаса предыдущая формула определения количества проростков  $N = 67,870 \cdot D - 502,391$  примет следующий вид:

$$B = (67,870 \cdot D - 502,391) \cdot 0,05 \cdot 0,37 \cdot M \cdot S,$$

где  $B$  — запас ламинарии;  $D$  — длительность периода со значениями температуры 15–8 °C в осенний период, дни; 0,05 — коэффициент выживаемости рассады ламинарии от апреля до сентября (первый год); 0,37 — коэффициент выживаемости ламинарии с сентября до июля (от первого до второго года жизни);  $M$  — средняя многолетняя масса товарного слоевища для данного района;  $S$  — площадь.

Как пример приводим результаты сравнительной оценки запаса ламинарии, рассчитанного по предлагаемому методу и полученного в результате традиционной водолазной съемки, которую удалось провести в 2007 и 2008 гг.

**Прогноз запаса ламинарии на 2007 г. и его оправданность по результатам обследования.** В 2005 г. в среднем Приморье период с оптимальными значениями температуры для развития микроскопических стадий ламинарии составлял всего 5 дней. Как следует из модели регрессии, при  $D$ , равном около одной недели, выживаемость практически равна нулю. Для выживания рассады нужно не менее 8 дней с температурой 15–8 °C в осенний период. Однако количество дней с допустимыми значениями температуры воды, при которых зооспоры и гаметофиты медленно, но все же развиваются, было равно 14. Поэтому примем значение  $D$  за 14. Средняя навеска второгодних слоевищ в такие годы будет всего 300 г, поскольку рассада появится поздно и не успеет набрать обычных для этого района размерно-массовых характеристик (по результатам съемки 2006 г. было показано, что рассада действительно появилась поздно и имела меньшие по сравнению со среднемноголетними морфометрические и весовые показатели). Площадь ( $S$ ) поля ламинарии, например, у мыса Низменного равна 24000 м<sup>2</sup>. Следовательно, запас ( $B$ ) ламинарии для 2007 г. в этом районе будет составлять:

$$B = (67,870 \cdot 14 - 502,391) \cdot 0,05 \cdot 0,37 \cdot 300 \cdot 24000 = 60 \text{ т.}$$

Обследование зарослей ламинарии у мыса Низменного осенью 2007 г. показало, что второгодние растения находились в основном в мелководной зоне, т.е. до глубины 5 м, на площади около 12 000 м<sup>2</sup> со средней плотностью 10 слоевищ на 1 м<sup>2</sup>, что при средней навеске 300 г составляло запас 36 т. Кроме того, на глубине от 5 до 10 м имелись прерывистые полосы и пятна с поселениями второгодней ламинарии на площади 7 000 м<sup>2</sup> со средней плотностью 6 экз./м<sup>2</sup>, что при такой же навеске составило запас 12,6 т. Таким образом, реальный общий запас ламинарии в 2007 г. был равен 49 т, что практически соответствует прогнозируемому, оцененному в 60 т.

**Прогноз запаса ламинарии на 2008 г. и его оправданность по результатам обследования.** Длительность периода с благоприятными значениями температуры воды для развития зооспор и гаметофитов в 2006 г. была равна 26 дням. При таком температурном режиме рассада должна появиться в 2007 г. рано, что гарантирует увеличение среднеголетних весовых показателей второгодних слоевищ до 500 г. Площадь поля у мыса Низменного та же и равна 24000 м<sup>2</sup>. Следовательно, расчетный запас ламинарии для 2008 г. в этом районе на той же самой площади составит:

$$B = (67,870 \cdot 26 - 502,391) \cdot 0,05 \cdot 0,37 \cdot 500 \cdot 24000 = 280 \text{ т.}$$

При этом количество первогодней ламинарии из расчета по формуле будет следующее:

$$B = (67,870 \cdot 26 - 502,391) \cdot 0,05 = 63 \text{ экз./м}^2.$$

Обследование зарослей ламинарии у мыса Низменного осенью 2007 г. показало, что фактические данные по плотности первогодней ламинарии на разных участках исследуемого поля составили от 48 до 88 экз./м<sup>2</sup>, что соответствует прогнозу. Второгодние растения, так же как и ранее, обитали в основном в мелководной зоне, т.е. до глубины 5 м, образуя сплошную полосу зарослей вдоль берега на площади около 16 000 м<sup>2</sup> со средней плотностью 24 слоевища на 1 м<sup>2</sup>, что при средней навеске в 500 г составляло запас в 192 т. На глубине от 5 до 10 м второгондняя ламинария произрастала на площади в виде полос и пятен, равных в сумме около 7 000 м<sup>2</sup>, со средней плотностью 18 экз./м<sup>2</sup>, что при такой же навеске составило запас в 63 т. Таким образом, реальный общий запас ламинарии в 2008 г. составил 255 т, что практически соответствует прогнозируемому, оцененному в 280 т.

Анализ придонной температуры воды осенью 2008 г. в среднем (бухта Валентина) и южном (бухта Рифовая) Приморье показал, что длительность периода с оптимальными температурами для развития зооспор и гаметофитов составляет около 6–8 дней, а с допустимыми температурами (нелетальными) — около 10–12 дней, что ниже среднеголетних показателей и не гарантирует реализации большей части созревших зооспор. К тому же наблюдались перепады температуры воды в придонном слое (рис. 12, 13), что обычно вызывает позднее появление рассады первогодних растений.

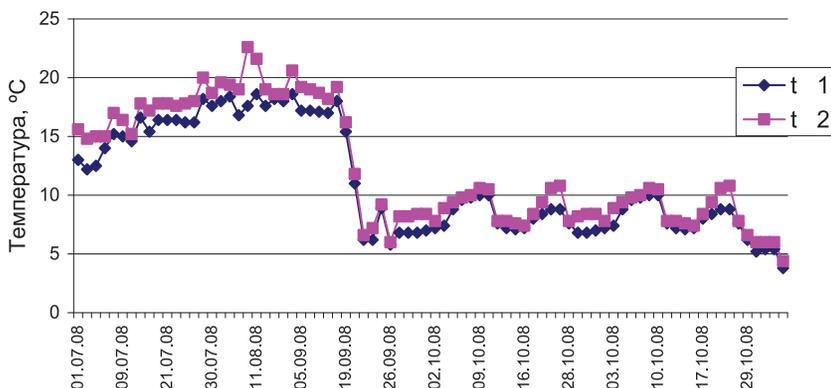


Рис. 12. Температура воды на глубине 3 м (1) и на поверхности (2) в осенний период в бухте Валентина (среднее Приморье) осенью 2008 г.

Fig. 12. Water temperature at 3 m depth (1) and at the sea surface (2) in the Valentin Bay (middle Primorye) in the autumn, 2008

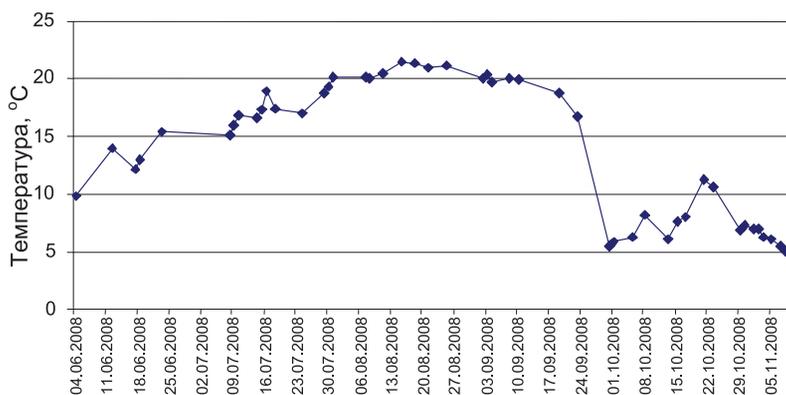


Рис. 13. Температура воды в бухте Рифовой (зал. Петра Великого, южное Приморье) осенью 2008 г.

Fig. 13. Water temperature in the Rifovaya Bay (Peter the Great Bay, south Primorye) in the autumn of 2008

Резкое падение значений температуры воды наблюдалось в период с 21 по 23 сентября на всей акватории от зал. Владимира до мыса Поворотного, а также и в зал. Петра Великого — с 18–16 до 6 °С на поверхности и с 13 до 3 °С на дне. С 4 по 7 октября после южного ветра вода перемешалась и температура стала практически одинаковой на всех горизонтах: на поверхности она была равна 5,2 °С, а на дне — 5,0 °С, что ниже благоприятных значений для развития зооспор, поэтому в 2009 г. ожидалось малочисленное и позднее поколение первогодних растений и, следовательно, неурожайный 2010 г., что и подтвердилось результатами последующих съемок.

Время наступления благоприятных значений температуры воды для развития ранних стадий ламинарии в значительной степени зависит от режима смены ветров. Смена муссона на зимний приводит к развитию у берегов Приморья сгона и апвеллинга, в результате чего адвективная компонента становится отрицательной, что увеличивает отток тепла примерно вдвое (Покудов, Власов, 1980; Яричин, 1980; Юрасов, Яричин, 1991; Zuenko, 2001). В среднем смена муссона происходит во второй декаде сентября, однако этот срок имеет значительные межгодовые вариации, о чем можно судить по изменениям дат смены знака меридионального индекса атмосферной циркуляции Каца (Глебова, 2007). В зависимости от интенсивности муссона в разные годы температура воды на поверхности моря в прибрежье среднего Приморья переходит через значение 8 °С в период с 25 сентября по 10 октября (Крупнова, 1985, 2004).

### Заклучение

Таким образом, на основе отслеживания режима температуры воды осенью и определения длительности периодов с ее благоприятными значениями для развития ранних стадий ламинарии можно прогнозировать урожайность этой водоросли с опережением в два года. Несомненно, что прогноз запаса ламинарии будет оправдан для тех участков прибрежья, где существует обеспеченность маточными слоевищами. Опытным путем установлено, что гарантированное заселение субстрата зооспорами ламинарии происходит там, где плотность маточных слоевищ составляет не менее 2–3 экз. на 4 м<sup>2</sup> (Крупнова, Турабжанова, 2006; Крупнова, 2008).

### Список литературы

Глебова С.Ю. Долгопериодные тенденции в ходе атмосферных процессов и термического режима дальневосточных морей за последний 30-летний период: отчет о НИР / ТИНРО-центр. № 26231. — Владивосток, 2007. — 26 с.

Гриних Л.И., Сарочан В.Ф. Изучение фотосинтеза анфельдии их лагуны Буссе и залива Измены // Изв. ТИНРО. — 1968. — Т. 65. — С. 178–200.

- Кардакова Е.А.** Качественная характеристика зарослей морской капусты южного Приморья за 1937 г. : отчет о НИР / ТИНРО. № 1863. — Владивосток, 1937. — 15 с.
- Кафанов А.И., Кудряшов В.А.** Морская биогеография : монография. — М. : Наука, 2000. — 176 с.
- Крупнова Т.Н.** Влияние океанолого-климатических факторов на динамику полей ламинарии японской (*Laminaria japonica* Aegesch.) в северо-западной части Японского моря // Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — СПб., 2004. — С. 162–166.
- Крупнова Т.Н.** Инструкция по культивированию и восстановлению полей ламинарии. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — 34 с.
- Крупнова Т.Н.** Опыт культивирования ламинарии японской по двухгодичному циклу в Приморье. — Владивосток : ЦПКТБ Дальрыба, 1985. — 41 с.
- Крупнова Т.Н.** Причины сокращения запасов ламинарии японской в Приморье, разработка методов прогнозирования, перспективы воспроизводства // Докл. Всерос. конф. «Пути решения проблем изучения, освоения и сохранения биоресурсов Мирового океана в свете морской доктрины Российской Федерации на период до 2020 года». — М. : ВНИРО, 2002а. — С. 196–201.
- Крупнова Т.Н.** Особенности развития споронозной ткани у ламинарии японской под воздействием изменяющихся условий среды // Изв. ТИНРО. — 2002б. — Т. 130. — С. 474–482.
- Крупнова Т.Н., Димитриев С.М.** Инструкция по выращиванию ламинарии в двухгодичном цикле с цеховым получением рассады. — Владивосток : ТИНРО, 1990. — 53 с.
- Крупнова Т.Н., Димитриев С.М., Куликов И.А.** Результаты выращивания рассады ламинарии японской для одногодичного культивирования в условиях Приморья // Тез. докл. 4-го Всесоюз. совещ. по науч.-техн. проблемам марикультуры. — Владивосток, 1983. — С. 128–129.
- Крупнова Т.Н., Темных А.А.** Инструкция по выращиванию ламинарии в цеховых условиях. — Владивосток : ТИНРО, 1991. — 41 с.
- Крупнова Т.Н., Турабжанова И.С.** Выращивание ламинарии японской (*Laminaria japonica*) донным способом в северном Приморье // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. «Экологические проблемы использования прибрежных морских акваторий». — Владивосток : ДВГУ, 2006. — С. 120–122.
- Кулепанов В.Н., Дзизюров В.Д., Жильцова Л.В.** Факторы, определяющие динамику запасов ламинарии японской у побережья Приморья // Приморье — край рыбацкий : мат-лы науч.-практ. конф. — Владивосток, 2002. — С. 39–41.
- Ли Хуанцзы.** Первоначальное исследование вопроса о снижении запасов морской капусты на Шаньдунском побережье // Хуадуншуйчань. — 1960. — Т. 11–12. — С. 57–66. (Пер. с кит.)
- Петров Ю.Е.** Распределение морских бентосных водорослей как результат влияния системы факторов // Ботан. журн. — 1975. — Т. 59, № 7. — С. 955–966.
- Покудов В.В., Власов Н.А.** Температурный режим прибрежных вод Приморья и острова Сахалин по данным ГМС // Тр. ДВНИГМИ. — 1980. — Вып. 86. — С. 109–118.
- Суховеева М.В.** Распределение водорослей вдоль берегов Приморья // Изв. ТИНРО. — 1967. — Т. 61. — С. 255–260.
- Суховеева М.В.** Состояние запасов, распределение ламинарии и некоторых других водорослей у берегов Приморья. — Владивосток : Дальневост. кн. изд-во, 1969. — 23 с.
- Тзен Чен Куй и Ву Чжао Юань.** Разведение морской капусты и связанные с этим проблемы // Ботан. журн. — 1956. — Т. 41, вып. 2. — С. 182–192.
- Юрасов Г.И., Яричин В.Г.** Течение Японского моря : монография. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. — 176 с.
- Яричин В.Г.** Состояние изученности циркуляции вод Японского моря // Тр. ДВНИГМИ. — 1980. — Вып. 80. — С. 46–61.
- Hasegava Y.** Cultivation of laminaria in Japan // Bull. Hokk. Reg. Fish. Res. Lab. — 1971. — Vol. 37. — P. 46–48.
- Hasegava Y.** Progress of Laminaria cultivation in Japan // J. Fish. Res. Bd Canada. — 1976. — Vol. 33, № 4, pt 2. — P. 1002–1006.
- Luning K.** Seaweeds. Their environment, biogeography and ecophysiology. — N.Y., 1990. — 527 p.
- Luning K., Neushul M.** Light and temperature demands for growth and reproductions of Laminarian gametophytes in southern and central California // Mar. Biol. — 1978. — Vol. 45. — P. 297–309.
- Zuenko Y.I.** Seasonal cycle of heat and salt balance in Peter the Great Bay (Japan Sea) // Oceanography of the Japan Sea. — Vladivostok : Dalnauka, 2001. — P. 220–225.

*Поступила в редакцию 2.05.12 г.*