

УДК 639.294.053.7:582.272.46(265.54)

Т.Н. Крупнова*

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

О ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ СНИЖЕНИЯ РЕПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА И ИЗМЕЛЬЧАНИЯ СЛОЕВИЩ ЛАМИНАРИИ ЯПОНСКОЙ (*SACCHARINA JAPONICA*) В ПРИБРЕЖЬЕ ПРИМОРЬЯ

Обсуждаются причины измельчания слоевищ и снижения количества продуцированной спороносной ткани у бурой водоросли ламинарии японской (*Saccharina japonica*) в прибрежье Приморья, которые связываются с интенсивной вырубкой леса на водосборных площадях рек, впадающих в северо-западную часть Японского моря. Сплошные вырубки привели к уменьшению массы листового опада и, как следствие, вызвали сокращение потока биогенных элементов, вносимых реками в прибрежную часть Приморья.

Ключевые слова: ламинария, слоевище, репродуктивный потенциал, кедровые леса, биогенные элементы.

Krupnova T.N. On possible causes of lowering reproduction potential and growing small for laminaria *Saccharina japonica* at the coast of Primorye // *Izv. TINRO.* — 2013. — Vol. 175. — P. 93–100.

One of possible reasons for recent changes of the kelp *Saccharina japonica* at the coast of Primorye, as growing small, weak sporogenesis and therefore its stock decreasing, is a lack of nutrients discharged to the coastal sea by rivers. Because of the shore deforestation, the river discharge becomes lower and more variable, so it does not supply enough terrestrial organics that is the main source of nutrients for the coastal waters after its destruction in estuaries.

Key words: laminaria, thallus, reproduction, cedar forest, nutrient.

Введение

В последние десятилетия запасы ламинарии японской, получившей недавно новое название *Saccharina japonica* (Lane et al., 2006), у берегов Приморья находятся на низком уровне. На фоне общего снижения запасов наблюдается их изменчивость по годам, происходит заселение районов традиционного произрастания ламинарии ее конкурентами за субстрат, в первую очередь корковыми известковыми водорослями из порядка Corallinales. Наряду с этим также отмечаются сокращение количества продуцированной репродуктивной спороносной ткани и измельчание слоевищ.

Современные исследования динамики экосистем показывают, что помимо коротко- и долгопериодных естественных флюктуаций морской среды, вызванных процессами в атмосфере и океане и определяющих биопродуктивность морских экосистем и развитие морской биоты, в настоящее время значительное воздействие на состав, структуру и динамику биологических сообществ оказывает все возрастающая

* Крупнова Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: krupnova@tinro.ru.

Krupnova Tatiana N., Ph.D., leading researcher, e-mail: krupnova@tinro.ru.

промышленно-хозяйственная активность на шельфе (Христофорова, 2005; Brierley and Kingsford, 2009). Особенно это актуально для прибрежных зон, подверженных наибольшему воздействию антропогенного влияния. Биологическая продуктивность прибрежных экосистем и ее промысловый потенциал тесно связаны с гидрологическими и гидрохимическими условиями, механизмами формирования фронтальных зон и апвеллингов, а также с воздействием материкового стока (Zuenko, 2001; Цыпышева, Крупнова, 2011; Polovina et al., 2011).

Однако из-за специфичности и неявной очевидности связи между сохранением продуктивности прибрежных биоценозов и разнообразием хозяйственного воздействия эта проблема остается все еще малопонятной. В данной статье делается попытка установления связи деградации поселений ламинарии в прибрежье Приморья с интенсивной вырубкой леса на водосборных площадях рек, впадающих в северо-западную часть Японского моря в зону обитания макрофитов.

Материал и методы

Материалом для изучения размерно-массовых и репродуктивных характеристик ламинарии послужили ее образцы, которые отбирались ежемесячно с апреля по ноябрь в 1975–2010 гг. на стационарных полигонах, расположенных вдоль всего побережья Приморья, а также во время экспедиционных исследований на НИС ТИПРО. Пробы на спороношение отбирали согласно разработанной в 1975 г. и применяемой в течение всех лет исследований методике, заключающейся в определении коэффициента покрытия слоевищ спороносной тканью (К), рассчитываемого из отношения общей площади спороносной ткани растений к общей площади растений в выборке (Крупнова, 1984). Количество экземпляров ламинарии в пробе для изучения размерно-массовых характеристик составляло не менее 50, для определения степени спороношения — 100 слоевищ. Общее количество измеренных растений — 5 000 экз. Статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием программы Statistica.

Результаты и их обсуждение

Сравнение морфометрических данных слоевищ ламинарии, которые наблюдались в середине 1970-х гг., с современными данными показало, что их длина (как и масса) значительно уменьшилась. Если в 1975 г. средняя длина слоевищ в северном Приморье в период максимальных значений в середине августа была более 300 см, то в это же время в последние годы этот показатель составил всего около 250 см и менее (рис. 1).

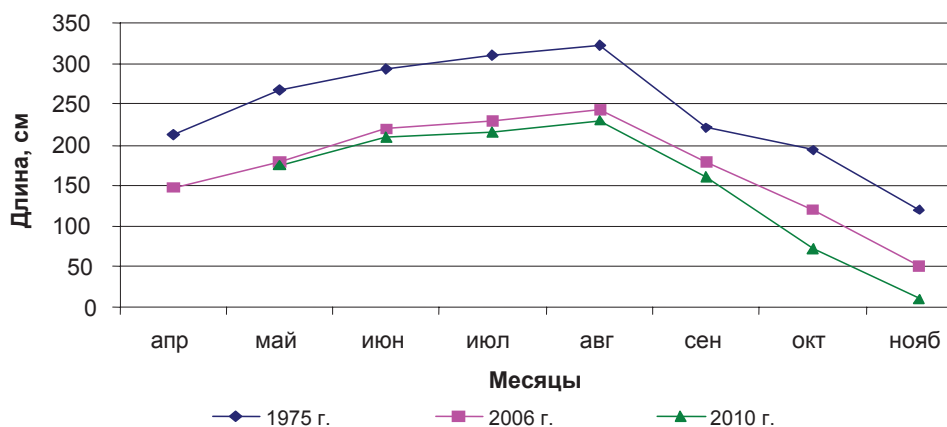


Рис. 1. Длина слоевищ ламинарии в разные годы
Fig. 1. Length of the laminaria thallus in certain years

Средняя длина слоевищ ламинарии, которая наблюдалась в период с 1975 по 1979 г., к настоящему времени уменьшилась примерно на 50 см для всех месяцев жизненного цикла (рис. 2).

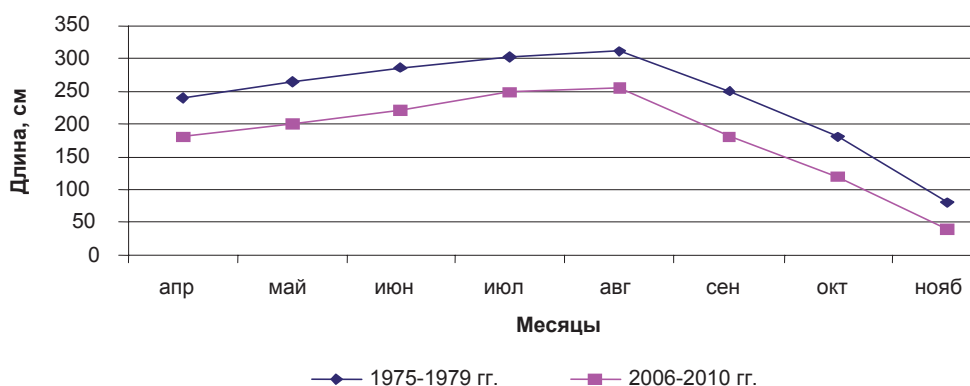


Рис. 2. Длина слоевищ ламинарии по многолетним данным
 Fig. 2. Mean length of the laminaria thallus

Уменьшение размеров слоевищ ведет не только к потере урожая ламинарии, но и к снижению ее репродуктивного потенциала. Так, у 100 промеренных маточных слоевищ, взятых в районе среднего Приморья в 1996 г., общая площадь спороносной ткани в период максимальной зрелости и выхода зооспор в начале октября определялась в 27 м², а в 2011 г. она составила всего 20 м² (рис. 3).

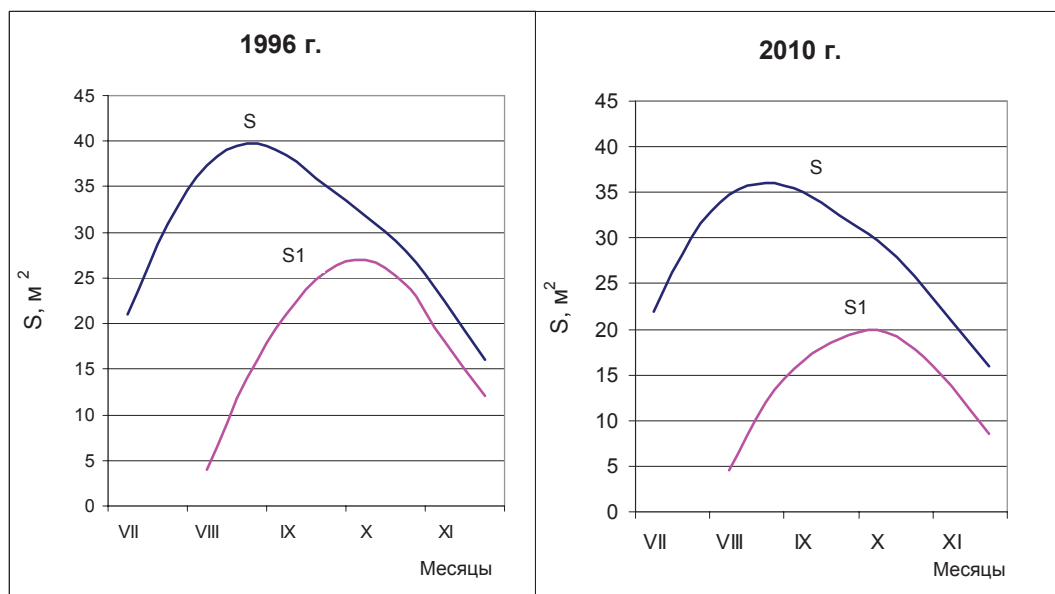


Рис. 3. Динамика общей (S) и спороносной площади (S1) ста слоевищ ламинарии японской в 1996 и 2010 гг.

Fig. 3. Seasonal dynamics of total (S) and sporogenic (S1) space of the laminaria thalli (m² per 100 thalli) in 1996 and 2010

Если для ранних стадий развития ламинарии лимитирующим фактором является температура воды и изменение ее значений на 2–3 °С способно затормозить развитие гаметофита, а скачки в 5–8 °С приводят к его гибели, то взрослые спорофиты незначительные перепады температуры переносят безболезненно. Для взрослого спорофита, как показали наши исследования и данные японских ученых (Крупнова, 1984; Крупнова, Подкорытова, 1985; Mizuta et al., 1996, 1998), содержание биогенных элементов в воде является фактором, определяющим размерно-массовые и репродуктивные показатели.

Растворенные в морской воде питательные вещества водоросли ассимилируют всей поверхностью слоевища непосредственно из морской воды. Поглощение биогенов и микроэлементов происходит за счет сосущей силы клеток водорослей, являющей-

ся результатом разницы осмотического давления внутриклеточного сока растения и морской воды.

Бурые водоросли относятся к гиперосмотическим организмам, у которых их клеточное осмотическое давление превышает внешнее и равно 30–60 атм, в то время как осмотическое давление воды с океанической соленостью составляет около 23 атм (Библь, 1972; Камнев, 1989). Разница между величинами осмотического давления клеток водорослей и морской воды и позволяет водорослям поглощать воду с растворенными в ней питательными веществами.

Макрофиты продуцируют значительные биомассы и обладают большой аккумулярующей способностью. Одним из наиболее важных условий для нормального развития ламинариевых водорослей является обеспеченность их биогенами, особенно соединениями азота и фосфора, входящими в состав белковых молекул и участвующими в регуляции внутриклеточного обмена водорослей. В прибрежных зонах появляются дополнительные источники азота и фосфора в виде привносимых с речным стоком биогенных элементов, в местах выпуска сточных вод рыбозаводов популяции макрофитов достигают наиболее полного развития.

Ламинариевые водоросли утилизируют любые формы неорганического азота, но предпочтение отдают аммонийному, составляющему в сточных водах рыбозаводов в среднем до 61 мг/л. Плантация ламинарии площадью 1 га способна за сутки извлечь из воды около 250 кг азота. При подкормке слоевищ этой водоросли фосфорнокислым натрием и мочевиной (при содержании азота в морской воде не менее чем 100 г/м³) их масса увеличивалась до 1200–1500 г к периоду сбора урожая, а у неподкармливаемых составляла 800–900 г (Крупнова, 1984, 2004). Однако концентрации растворенных биогенных веществ в море, таких как нитраты и фосфаты, часто низки, что является лимитирующим фактором при развитии бурых водорослей, обладающих значительными биомассами (Mizuta et al., 1996, 1998).

Необходимые для развития водорослей соединения азота и фосфора появляются в море при деструкции органического вещества бактериями, попадают с речным стоком с суши и поступают из атмосферы с дождями в форме аммиака и нитратов. Течения, несомненно, оказывают свое влияние на количественный и качественный состав биогенных элементов в морских водоемах, однако их влияние значимо главным образом только для отдаленных от берега участков.

В зоне роста ламинарии — участках побережья, непосредственно примыкающих к берегу и охватывающих глубину от уреза воды и до глубины 8–11 м, — приток биогенов обеспечивается за счет подтока глубинных шельфовых вод в виде приливного перемешивания и апвеллинга, а также за счет стока рек.

Информации о влиянии составных частей, создающих биогенную среду для питания ламинарии, практически не имеется, однако, как нам представляется, речной сток является важным фактором при формировании благоприятного состава среды в прибрежной полосе для роста макрофитов.

Водосборный бассейн Японского моря составляет 120 тыс. км², вытянут вдоль побережья и образован за счет водораздела горной системы Сихотэ-Алинь, линия которого проходит по его хребтам и больше смещена к морскому побережью, поэтому прибрежные реки впадают непосредственно в Японское море.

Речная сеть побережья Приморья хорошо развита и представлена в основном горными реками с площадью водосбора в среднем около 2–4 тыс. км². Суммарная величина водного стока с водосбора основных рек, впадающих в побережье Приморья, составляет 43,5 км³/год, общий вынос вещества — 4,3 млн т/год, включая твердый сток — 1,6 млн т/год и растворенные вещества — 2,7 млн т/год. В стоке растворенных веществ биогенные составляют 18 тыс. т/год. По сравнению с реками и бассейнами европейской части России эти величины весьма малы. Максимальное количество (90–98 %) выносится в наиболее водные месяцы — апрель–сентябрь (Чудаева, 1978, 1979).

Содержание азота и фосфора в речных водах может сильно изменяться по мере продвижения по руслу реки. Основной запас биогенных элементов в речных водах

формируется на участках водосбора, примыкающих к среднему течению реки или даже к ее верховьям (Леонов, Назаров, 2001). Часть биогенных элементов по мере продвижения к устью и побережью может переходить из раствора во взвесь и осесть на дно, часть усваивается речной растительностью, в том числе пресноводным фитопланктоном, и некоторое количество доходит до эстуариев. Объем выносимых биогенных элементов может быть большим в зависимости от площади водосбора каждой отдельной реки и составлять в сумме для всех рек, впадающих, например, в Каспийское море, ежегодно в среднем 41 тыс. т фосфора и 399 тыс. т азота. Самые высокие значения среднесуточного объема выноса получены для Волги: фосфора — 0,27 кг/га год и азота — 4,93 кг/га год. Наибольшее количество азота и фосфора в реках, в том числе впадающих в Японское море, наблюдается в весеннее половодье и составляет, как правило, 50–70 % годового стока, примерно 30 % этих элементов попадает в море. Наименьшее количество вносимых рекой биогенов в море наблюдается в летне-осенний период (Чудаева, 1978; Савенко, Захарова, 1998; Брызгалов и др., 2000; Леонов, Назаров, 2001).

Ростовые периоды ламинарии совпадают с режимом поступления биогенов в море. Весной ламинария активно растет, что является следствием интенсивного поступления биогенных элементов в результате начала весеннего половодья рек, впадающих в побережье Приморья. В конце лета — начале осени первогодние растения ламинарии приостанавливаются в росте, а второгодние начинают разрушаться из-за окончания жизненного цикла, что также коррелирует с сокращением потока биогенов.

Рассмотрим пути поступления биогенов в реки.

Известно, что почвы представляют собой среду, с которой впервые соприкасаются атмосферные осадки, выпавшие на земную поверхность. Фильтруясь через почву, вода атмосферных осадков обогащается солями, которые вымываются или из почвенного раствора, или из так называемого поглощенного комплекса почв, т.е. поглощенных высоко-развитой поверхностью дисперсных минеральных и органических веществ почв. Также вода обогащается угольной кислотой и органическими кислотами, которые образуются при распаде растительных остатков в почве. Появление в воде CO_2 и органических кислот имеет большое значение для ускорения химического выветривания и растворения минералов в почве и подстилающих ее пород (Шилькрот, Ясинский, 2002).

В свою очередь состав почвы тесно связан с наземной растительностью. В лесных подстилках содержание фосфора может достигать 100 кг/га. Гумусовая оболочка почвы является естественным аккумулятором соединений этого элемента. Почвенный покров, насыщенный бактериями, перерабатывающими растительные остатки, представляет собой сферу, где под влиянием лучистой энергии солнца и действия воды проявляется геохимическая роль организмов. Последние аккумулируют солнечную энергию и за счет ее выделения при распаде органических остатков способствуют интенсивному обмену веществ в земной коре, выражающемуся в виде минерализации природных вод. В результате этого речные воды являются в значительной мере водными вытяжками почв и их химический состав тесно связан с типом почв (Алекин, 1966).

Листовой опад является основной базой для формирования биогенных компонентов, вымываемых подземными и дождевыми водами в реки. Процесс минерализации листового опада от крупных фракций до биогенных элементов занимает 7–8 лет. Лесистость Приморского края достаточно высокая, и представлена в основном горными лесами, которые обладают высокими водорегулирующими свойствами, заключающимися в поглощении осадков и переводе их в грунтовый сток. Выпадающие осадки полностью трансформируются лесом (Жильцов, 1989).

Наиболее водосодержащими являются кедровники, они задерживают наибольшее количество осадков — до 31 %. Общие запасы влаги в почвах кедровников и пихтово-еловых лесов в верхнем метровом слое даже в период максимального иссушения в 2 раза выше по сравнению с количеством влаги в почвах других типов лесов (Таранков, 1967).

Хотя до сих пор Приморский край считается многолесным районом на основании формального показателя — лесистости территории, кедровые леса под влия-

нием рубок на большей части площади (около 2 млн га) замещены уже вторичными дубняками и другими широко- и мелколиственными лесами. Кедровые леса, как и все хвойные породы, по сравнению с лиственными продуцируют значительно большую фитомассу, и ее общий запас в лесах Приморья достигал в предыдущие годы 300–400 т/га. Как следствие, формировалась и значительная масса листового опада, являющегося основой поставки биогенов в прибрежную часть моря (Таранков, 1967; Опритова, 1978).

Кроме того, в речных бассейнах, покрытых лесами, создаются благоприятные условия для превышения приходной части водного баланса (увлажнения) над расходной (испарением), что приводит к увеличению общей водности рек и стабильности их расходования. При вырубке лесов происходит усиление испарения и обмеление рек (Опритова, 1978).

Сведение лесов, уничтожение лесной подстилки приводят к изменениям запасов фосфора и азота и их круговорота в биосфере.

Так, в начале 1950-х гг. в лесах северного Сихоте-Алиня практиковались только выборочные рубки малой интенсивности, которые оказывали благоприятное влияние на развитие подроста и способствовали появлению новой молодой поросли вследствие формирования оптимального жизненного пространства за счет создания хороших условий освещенности после уменьшения сомкнутости полога древостоя. Период возобновления после таких рубок не превышает 10–15 лет. Однако в последние 50 лет повсеместно используются только сплошные рубки с механизированной заготовкой и трелевкой. Возобновляемость после таких рубок крайне слабая, поскольку создается резкая смена среды и крупный подрост погибает практически полностью (Манько, 1958; Опритова, 1991).

После сплошных рубок лесов происходит резкое нарушение их гидрологического режима. Это в первую очередь выражается в быстром скатывании воды в море по рекам после дождей в результате деградации держащей влагоустойчивой способности лесов из-за возникшего разрежения сомкнутости крон деревьев и сокращения площади их корневой системы. В результате время контакта воды с листовым опадом уменьшается, что и вызывает обеднение рек биогенными элементами. При этом происходит увеличение поверхностного стока, который не успевает насытиться многочисленными биогенными элементами, что в свою очередь также усиливает обедненность ими рек (Опритова, 1978).

Исследования последствий рубки лесов в горных лесных экосистемах показывают возникновение необратимых изменений в окружающей среде и истощение многих природных ресурсов (Манько, Ворошилов, 1967; Таранков, 1967; Жильцов, 2008).

Данные о количественных показателях содержания биогенных элементов в реках, впадающих в побережье Японского моря, немногочисленны, в связи с чем не представляется возможным сделать достоверный вывод об их снижении. Однако те сведения, что удалось найти, указывают, что этот процесс наблюдается. Так, в устье р. Киевка ранее обнаруживался даже аммоний, который усваивается растениями в первую очередь, и его величина была около 1,0 мг/л, а нитритов — 0,03 мг/л (Беликин, 1984). В последние годы в этой реке при анализе гидрохимических показателей не было обнаружено аммония, а нитраты или отсутствовали или их содержание было минимально, что характерно и для некоторых других горных рек (Марковцев, Горяинов, 2009; Катайкина, Милованкин, 2011).

Выводы

Интенсивные рубки леса на водосборных площадях рек Приморья привели к сокращению массы листового опада и, как следствие, вызвали сокращение потока биогенных элементов, вносимых реками в прибрежную часть в зону обитания водорослей. В результате этих процессов произошло снижение репродуктивного потенциала бурой водоросли ламинарии, а также измельчание ее слоевищ.

Список литературы

- Алекин О.А.** Химия океана : монография. — Л., 1966. — 247 с.
- Беликин С.П.** К вопросу о гидрохимии эстуарных зон нерестовых рек Приморья // Биология проходных рыб Дальнего Востока. — Владивосток, 1984. — С. 123–131.
- Библь Р.** Цитологические основы экологии растений : монография. — М. : Пищ. пром-сть, 1972.
- Брызгалов В.А., Коршун А.М., Никаноров А.М., Соколова Л.П.** Реки Дальнего Востока в условиях современного антропогенного воздействия // Вод. ресурсы. — 2000. — Т. 27, № 2. — С. 245–253.
- Жильцов А.С.** Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов южного Приморья : монография. — Владивосток : Дальнаука, 2008.
- Жильцов А.С.** Оценка водоохранно-защитной роли лесов Приморского края. Методические рекомендации. — Владивосток : АН СССР, 1989. — 30 с.
- Камнев А.Н.** Структура и функции бурых водорослей : монография. — М. : МГУ, 1989.
- Катайкина О.И., Милованкин П.Г.** Результаты исследований гидрологии и гидрохимии эстуариев рек Суходол и Раздольная в 2010 году // 5-я конф. мол. ученых «Океанологические исследования» : тез. докл. — Владивосток : ТОИ ДВО РАН, 2011. — С. 99–100.
- Крупнова Т.Н.** Влияние океанолого-климатических факторов на динамику полей ламинарии японской (*Laminaria japonica* Aresch.) в северо-западной части Японского моря // Гидрология и гидрохимия морей. Т. 8 : Японское море, вып. 2. — СПб. : Гидрометеоздат, 2004. — С. 162–166.
- Крупнова Т.Н.** Размножение ламинарии японской *Laminaria japonica* Aresch. — объекта марикультуры : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1984. — 26 с.
- Крупнова Т.Н., Подкорытова А.В.** Морфобиологические группы ламинарии и их биохимические особенности // Раст. ресурсы. — 1985. — Вып. 2. — С. 210–215.
- Леонов А.В., Назаров Н.А.** Поступление биогенных веществ в Каспийское море с водным стоком рек // Вод. ресурсы. — 2001. — Т. 28, № 6. — С. 718–728.
- Манько Ю.И.** Возобновляемость темнохвойных лесов северного Сихотэ-Алиня и некоторые вопросы их развития // Тез. докл. сессии совета ДВ ФАН СССР по итогам научных исследований за 1957 г. — Владивосток, 1958. — С. 62–63.
- Манько Ю.И., Ворошилов В.П.** Естественное возобновление пихтово-еловых лесов Приморья и Приамурья после рубок и пожаров // Итоги изучения лесов Дальнего Востока : реф. докл. совещ. по изучению лесов Дальнего Востока. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1967. — С. 171–173.
- Марковцев В.Г., Горяинов А.А.** Характеристика р. Киевка как водотока для размещения лососевого рыболовного завода : отчет о НИР (промежут.) / ТИНРО-центр. — Владивосток, 2009. — 47 с.
- Оприцова Р.В.** Водоохранная роль лесов Южного Сихотэ-Алиня : монография. — М. : Наука, 1978. — 96 с.
- Оприцова Р.В.** Надземная фитомасса лесов и речной сток в Южном Сихотэ-Алине : монография. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. — 117 с.
- Савенко В.С., Захарова Е.А.** Фосфор в зоне смешения морских и речных вод // Вод. ресурсы. — 1998. — Т. 25, № 3. — С. 321–329.
- Таранков В.И.** Гидроклиматическая роль основных лесных формаций южного Приморья // Итоги изучения лесов Дальнего Востока : реф. докл. совещ. по изучению лесов Дальнего Востока. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1967. — С. 31.
- Христофорова Н.К.** Экологические проблемы региона. Дальний Восток — Приморье : учебное пособие. — Владивосток ; Биробиджан, 2005. — 303 с.
- Цыпышева И.Л., Крупнова Т.Н.** Возможности спутникового дистанционного зондирования для характеристики условий обитания бурых водорослей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2011. — Т. 8, № 4. — С. 263–273.
- Чудаева В.А.** Вещественная характеристика речного стока западной части Япономорского бассейна // Геохимия и минералогия осадочных комплексов Дальнего Востока. — Владивосток : ТИГ ДВНЦ АН СССР, 1979. — С. 151–171.
- Чудаева В.А.** Малые элементы в речном стоке западной части Япономорского бассейна // Процессы миграции веществ в береговой зоне. — Владивосток : ТИГ ДВНЦ АН СССР, 1978. — С. 51–55.
- Шилькрот Г.С., Ясинский С.В.** Пространственно-временная изменчивость потока биогенных элементов и качества воды малой реки // Вод. ресурсы. — 2002. — Т. 29, № 3. — С. 343–349.

Brierley A.S. and Kingsford M.J. Impacts of climate change on marine organisms and ecosystems // *Current Biology*. — 2009. — Vol. 19, Iss. 14. R602-614.

Lane C.E., Mayes C., Druehl L.D., Saunders G.W. A multi-gene molecular investigation of the kelp (Laminariales, Phaeophyceae) supports substantial taxonomic re-organization // *J. Phycol.* — 2006. — Vol. 42. — P. 493–512.

Mizuta H., Hayasaki J., Yamamoto H. Relation between Nitrogen Content and Sorus Formation in the Brown Alga *Laminaria japonica* Cultivation in Southern Hokkaido // *Jap. Fish. Sci.* — 1998. — Vol. 64(6). — P. 909–913.

Mizuta H., Maita Y., Yanda M., Hashimoto S. Function Transport of Nitrogen Compounds in the Sporophyte of *Laminaria japonica* // *Jap. Fish. Sci.* — 1996. — Vol. 62(2). — P. 161–167.

Polovina J., Dunne J.P., Woodworth P.A., Howell E.A. Projected expansion of the subtropical biome and contraction of the temperate and equatorial upwelling biomes in the North Pacific under global warming // *ICES Journ. of Marine Science*. — 2011. — Vol. 68(6). — P. 986–995.

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 19.04.13 г.