

УДК 57.042

В.В. Плотников^{1,2}, В.А. Дубина²¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК ПРИ ПЛАНТАЦИОННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ
ГРАЦИЛЯРИИ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

На основе собранного архива гидрометеорологических и гидрохимических данных оценены вероятности выхода основных лимитирующих факторов существования и развития грацилярии за пределы толерантности, на основании которых проведены расчеты экологических рисков при возможных реализациях задач плантационного культивирования грацилярии на акватории зал. Петра Великого.

Ключевые слова: залив Петра Великого, *Gracilaria verrucosa*, оценка экологических рисков, плантационное культивирование.

V.V. Plotnikov, V.A. Dubina**AN ENVIRONMENTAL RISK FOR GRACILARIA VERRUCOSA PLANTATION
CULTIVATION IN SOUTHWEST PART OF PETER THE GREAT BAY**

*On the basis of the object habitat analysis, on the created data archives of the hydrometeorological and hydrochemical limiting external environment parameters, by means of the reliability theory methodology and the probabilistic analysis, as well as the multidimensional statistics, the algorithm of the ecological substantiation of bio-productivity formation is formulated. On the basis of the above the algorithm of the spatial areas of *Gracilaria verrucosa* possible cultivation in Peter the Great Bay is estimated.*

Key words: Peter the Great Bay, *Gracilaria verrucosa*, admissible environmental risk, plantation cultivation.

Введение

В настоящее время перед человечеством стоит весьма важная задача – разработка и совершенствование научных подходов к рациональному использованию и культивированию морских биоресурсов. Водоросли являются основой биологической продуктивности, источником питания и укрытием для многочисленных видов беспозвоночных и рыб. Из водорослей получают такие ценные, а в ряде случаев и незаменимые вещества, как альгиновая кислота и её соли альгинаты, манит, фукоидан, агар, каррагинан, зостерин и др.

Однако ряд естественных популяций водорослей был подорван за длительный период их эксплуатации. В связи с этим вырос интерес к морским водорослям как объекту культивирования. К таким объектам, прежде всего, относятся агароносные водоросли, к которым относится неприкрепленная форма грацилярии бородавчатой (*Gracilaria verrucosa*).

Известно, что биопродуктивность морских акваторий сильно зависит от океанологических условий, в частности от пространственно-временной изменчивости лимитирующих факторов среды.

Целью работы явилась разработка алгоритмов и реализация задачи оценки экологических рисков для обоснования возможности культивирования грацилярии на южных акваториях зал. Петра Великого.

Объекты и методы исследований

Факторы среды обитания. Считается, что грацилярия бородавчатая – наиболее адаптоспособный вид рода грацилярия, что определяет ее как объект пристального изучения в целях культивирования. Действительно, наблюдения показали, что грацилярия в процессе роста может переносить весьма широкие пределы солености (3–33 ‰), температуры (8–32 °С), освещенности (0–400 Вт·м⁻²), концентрации ионов аммония (0,2–6·10⁴ мкг·л⁻¹) и водорода (рН 6–9). Этим, в частности, и объясняется ее весьма широкое распространение в Мировом океане [3–4].

Важнейшими факторами роста водорослей являются концентрация элементов азотного, фосфорного и углеродного питания, освещенность и температура среды [1-2, 4].

Освещенность и температура тесно связаны с поглощением водорослью азота и одновременно с содержанием биогенов в воде.

Основными элементами азотного питания грацилярии служат минеральные формы азота: ионы аммония (NH₄⁺) и нитрат-ионы (NO₃⁻). Скорость роста водорослей грацилярии в большинстве случаев достигает максимальных значений при относительно низких концентрациях азота в проточной культуре – около 20 мкг·л⁻¹ [4].

Фосфорное питание в среде в основном рассматривается как энергетический фактор роста водорослей, так как фосфор находится в постоянном обороте, участвуя в энергетических циклах организма. В норме водоросли удовлетворяют свои потребности в этом элементе, непосредственно ассимилируя растворенные неорганические соединения фосфора (ионы ортофосфатов). Соотношение азота и фосфора в культурах грацилярии, по экспериментальным данным, близко к соотношению 10 : 1.

В качестве источников углерода грацилярия может использовать углекислый газ и бикарбонат-ионы. В природной воде двуокись углерода находится в четырех формах: CO₂, H₂CO₃, HCO₃⁻ и CO₃²⁻, – равновесная концентрация которых существенно зависит от рН. При активном вегетативном росте грацилярии концентрация усвояемых водорослями форм двуокиси углерода может заметно уменьшиться из-за подщелачивания среды самим растением. При рН, равном 8, в среде практически отсутствует CO₂, при дальнейшем повышении рН – до 9 единиц – уменьшается концентрация HCO₃⁻. В этих условиях неорганический углерод в воде в основном представлен неусвояемыми водорослями карбонат-ионами. По этой причине одним из основных требований для успешного ведения культуры грацилярии в контролируемых условиях является стабилизация рН.

В настоящее время используются четыре измеряемых параметра при изучении карбонатной системы, к ним относятся: *pH*, *pCO₂* – парциальное давление углекислого газа, *TA* – общая щелочность, которая определяется уравнением (1) [11] и *DIC* – растворенный неорганический углерод (иногда называется общий неорганический углерод), который определяется соотношением

$$DIC = [CO_2^*] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]. \quad (1)$$

Детальный расчет карбонатной системы морской воды изложен в малодоступной зарубежной литературе [12]. Однако в последнее время разработаны новые подходы изучения карбонатной системы эстуариев [7–9].

Насыщение скорости роста фрагментов грацилярии бородавчатой достигается при весьма высоких значениях уровня освещенности – выше 40 Вт·м⁻² ФАР, что близко к среднему уровню освещенности поверхности воды на широте Южного Приморья в мае-июне.

Зависимость роста фрагментов водоросли от температуры в условиях, не лимитирующих рост значений уровня освещенности, длительности фотопериода и уровней концентра-

ции азотного и фосфорного питания, может принимать максимальные значения в пределах 20–27 °С. Грацилярия способна существовать кратковременно при экстремальных условиях, в частности при различной солености. Так, соленость воды ниже 10 ‰ или выше 40 ‰ в течение двух недель замедляет рост водоросли, но не ведет к деградации вида. Но оптимальной соленостью считают 20–25 ‰ [4].

Экологическое обоснование формирования биологической продуктивности. На основе анализа среды обитания объекта, сформированных баз данных о гидрометеорологических и гидрохимических лимитирующих параметрах внешней среды, применяя методы теории надежности, вероятностного анализа и многомерной статистики, формулируется алгоритм экологического обоснования формирования биологической продуктивности (грацилярии), на основе которого оцениваются пространственные ареалы ее возможного культивирования на акватории южно-западной части зал. Петра Великого.

Оценка возможности культивирования водорослей агарофитов на акваториях южной части зал. Петра Великого базируется на концепции допустимого риска, суть которой в стремлении к такой эффективности планирования, которая приемлема в данный период времени. Как показала практика, традиционная техника эффективного планирования, основанная на нулевом риске, неадекватна законам биосферы и в реальных системах невозможна.

В настоящем исследовании при разработке алгоритма экологического обоснования формирования биологической продуктивности оценивались лишь экологические риски.

Максимально приемлемым риском для экосистем считается тот, при котором может пострадать не более 5 % видов биогеоценоза.

Объектом анализа является система внешних факторов, определяющих возможность формирования биологической продуктивности, в частности, возможности культивирования водорослей агарофитов на южных акваториях зал. Петра Великого.

Анализ системы возможных рисков базируется на знании алгебры логики событий, теории вероятностей, статистическом анализе, требует инженерных знаний и системного подхода (*система* – это совокупность взаимосвязанных компонент, взаимодействующих между собой). Под компонентами экологической системы понимаются не только материальные объекты, но и их отношения и связи.

При анализе опасностей для таких пространственно крупных систем, как юго-западная часть зал. Петра Великого, в большинстве случаев выявленные источники опасностей (выход значений лимитирующих параметров за пределы толерантности) могут рассматриваться как точечные. Их местоположение можно задать с помощью системы координат. Предполагается, что опасность достаточно полно характеризуется значениями вероятностей рисков. Эти вероятности можно условно называть «зарядами» опасностей и считать, что они создают вокруг себя поле опасности, напряженность которого характеризуется вероятностью наступления чрезвычайной ситуации (ЧС). Это позволит не только установить границы опасной зоны, но и произвести ее разметку в зависимости от степени опасности.

Систему, состоящую из компонентов Q_1, Q_2, \dots, Q_n , обозначают в виде вектора системы $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$. Отклонение компонента Q_i от нормального функционирования есть ЧС E_i . ЧС E_i ($i = 1, n$) ведут к ненормальному функционированию системы Q , составляющему суть ЧС (E).

Логический анализ внутренней структуры системы ЧС и определение вероятности ЧС (E) как функции отдельных ЧС (E_i), являются одной из задач анализа опасностей.

Применяя правила теории вероятностей, находим вероятность ЧС в виде так называемой функции опасности $p = F_p(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, \dots, p_n)$.

В случае анализа опасностей экосистемы юго-западной части зал. Петра Великого выявленные источники опасностей (выход значений лимитирующих параметров за пределы толерантности) могут рассматриваться как соединенные последовательно. То есть к отказу данной системы приводит отказ любого компонента (ЧС *ИЛИ*) [10].

Будем обозначать отказы теми же буквами, что и компоненты. Если E_j , – отказ j -го компонента (компонента E_j), то ЧС *ИЛИ* есть событие: $E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + \dots + E_n = \sum E_j$, при $j=1, m$, где m – число компонентов системы. В силу логических законов двойственности *отсутствия* ЧС *ИЛИ* есть событие $\bar{E} = (\bar{E}_1 \cdot \bar{E}_2 \cdot \bar{E}_3 \cdot \bar{E}_4 \cdot \dots \cdot \bar{E}_n)$.

Если отказы компонентов системы рассматривать как взаимно независимыми, то вероятность ЧС *ИЛИ* равна:

$$P \{ \sum E_j \} = 1 - P \left\{ \sum_{j=1, m} \bar{E}_j \right\} = 1 - P \left\{ \prod_{j=1, m} \bar{E}_j \right\} = 1 - \prod_{j=1, m} (1 - P \{ E_j \}) = \\ = 1 - [(1 - P \{ E_1 \}) \cdot (1 - P \{ E_2 \}) \cdot (1 - P \{ E_3 \}) \cdot \dots \cdot (1 - P \{ E_m \})], \quad (2)$$

при $j=1, 2, \dots, m$, где m – число компонентов системы.

Последнее выражение свидетельствует о высокой вероятности ЧС в случае многокомпонентных систем. В более сложных случаях, чтобы воспользоваться формулами суммы и произведения вероятностей, логическую функцию необходимо определенным образом преобразовать – привести ее к нормальной, а затем к совершенной нормальной форме. Тогда она будет включать несовместимые события [10].

Результаты и их обсуждение

Гидрологические и гидрохимические условия зал. Петра Великого, а также межгодовая изменчивость являются следствием географического положения и рельефа дна, обмена с северными шельфовыми районами Японского моря, вариаций поступления солнечной радиации, циркуляции и изменчивости параметров атмосферы, системы течений моря, характера ледовых условий и речного стока [2, 5].

Температура. Наиболее низкая температура воды в зал. Петра Великого отмечается в январе–феврале. В прибрежных районах она опускается до $-1,85$ °С, а в мористой части залива составляет $2-4$ °С. К концу марта – началу апреля температура повсеместно переходит через 0 °С, и в дальнейшем идет интенсивный прогрев водных масс. В июне температура воды повышается от 8 до 15 °С, в августе достигает максимальных значений ($23-24$ °С). С конца августа начинается процесс охлаждения. Следует отметить, что в отдельные годы максимальная температура наблюдается в сентябре, реже в июле. В такие годы средняя температура августа обычно меньше среднего многолетнего значения. Летом от месяца к месяцу температура воды повышается медленнее, чем весной, что объясняется усилением циклонической деятельности, частыми дождями, туманами. В декабре температура воды в прибрежной части переходит через 0 °С. Сезонные изменения температуры воды в зал. Петра Великого преимущественно захватывают поверхностный слой воды до горизонта $30-35$ м. Ниже сезонные колебания температур уже не велики, а глубже $50-55$ м они вообще почти не ощущаются. Оптимальной для роста грацилярии температурой воды является интервал $25-30$ °С [1–5]. Соответственно, на юге залива такая температура наблюдается в июле–августе.

Соленость. В прибрежных водах, в частности в заливах, величина солености определяется в основном материковым стоком, ледообразованием, интенсивностью атмосферных осадков и испарения. Характерной особенностью распределения солености является ее повышение с севера на юг. Зимой распределение солености как по вертикали, так и на всем пространстве зал. Петра Великого довольно однородно и ее значения близки к 34 ‰. На мелководных участках залива за счет образования льда соленость воды в январе–феврале может возрастать до $35-35,6$ ‰ [2, 5].

Летом термическое расслаивание вод залива сопровождается распреснением поверхностного слоя и соленость на поверхности уменьшается до 33 ‰ и менее. В заливах и бухтах под влиянием речного стока она может еще больше уменьшаться (до 27–29 ‰), а в период ливневых дождей – еще до меньших значений. С глубиной соленость повсеместно возрастает.

Растворенный кислород. На содержание растворенного кислорода влияют две группы противоположных процессов:

- обогащение воды кислородом происходит как из атмосферы (вглубь растворенный кислород переносится в результате перемешивания воды волнением, конвекцией и течением), так и за счет выделения кислорода водной растительностью при фотосинтезе;
- уменьшение содержания растворенного кислорода обусловлено процессами, связанными с потреблением кислорода на окисление органических веществ, дыхание организмов, брожение, гниение органических остатков.

Соотношение интенсивности процессов указанных двух групп и определяет содержание растворенного кислорода.

Химические условия обитания бентонического населения в южной части зал. Петра Великого благоприятные, так как дефицита кислорода в глубинных слоях не наблюдается. Природные условия прибрежной части зал. Петра Великого (небольшие глубины, интенсивная гидродинамика, активный фотосинтез) способствуют обильному насыщению вод кислородом. По многолетним данным, с апреля по декабрь в водах зал. Петра Великого среднемесячная концентрация кислорода изменяется в поверхностном слое воды в пределах от 3,72 до 9,20 мл/л (73–129 % насыщения), в придонном – от 4,22 до 8,46 мл/л (70–127 %). В распределении кислорода наблюдаются два максимума: в апреле и ноябре–декабре, что связано с активизацией в эти периоды фотосинтеза. Минимальное содержание кислорода отмечается в период наибольшего прогрева вод, т.е. в летний период. Для юго-западного района зал. Петра Великого характерен благоприятный кислородный режим. В этот же период концентрации растворенного кислорода во всей толще воды были выше критической величины этого показателя (2,8 мл/л) и составили в среднем 3,5–5,7 мл/л.

Несмотря на гидрологические особенности, способствующие обильному насыщению водной массы кислородом, в прибрежной зоне зал. Петра Великого вследствие химического загрязнения случается и нарушение кислородного режима вод. Наличие области с максимальными значениями в центральной части ЗПВ находится в хорошем соответствии с пространственным распределением температуры воды. Содержание растворенного кислорода в водах ЗПВ как в «холодные», так и в «теплые» годы всегда выше, чем его растворимость. Это свидетельствует о существенном вкладе фотосинтеза (наряду с изменениями температуры воды и биохимического потребления кислорода) в особенности пространственного распределения кислорода [6].

Биогенные вещества. Распределение биогенных веществ (нитратов, фосфатов, силикатов) в водах зал. Петра Великого неоднородно. Материковый сток (источник солей фосфора и кремния) оказывает влияние на изменение запаса питательных солей в морской воде. В целом водная масса зал. Петра Великого насыщена органическим веществом. Благодаря воздействию материкового стока в заливе наблюдается характерное распределение биогенных веществ по вертикали: поверхностные слои обогащены питательными веществами, с глубиной их количество уменьшается, а с горизонта 50 м вновь увеличивается за счет погружения органических остатков и их разложения в условиях высокой концентрации растворенного кислорода.

Для анализа закономерностей распределения и пространственно-временной изменчивости биогенных элементов использовались данные наблюдений с 1990 по 2009 гг. на стандартной сети ОГСН ежемесячно в период с апреля по октябрь [6].

Нитраты. Основным источником нитратов является нитрификация органического вещества при распаде остатков организмов, сток рек, сброс промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Значительное количество биогенных веществ поступает в залив в результате водообмена с Японским морем. Часть азота поступает с атмосферными осадками.

Расходуются нитраты в процессе фотосинтеза (будучи одним из главных компонентов питания водных растений), денитрификации, при водообмене с открытым морем, при переходе органического азота с детритом в донные отложения.

В апреле воды южной части залива, полностью освободившиеся ото льда, характеризуются максимальными концентрациями нитратов на поверхности (до 18 мкг/л.). В июле–августе, по мере развития верхнего квазиоднородного слоя и потребления нитратов в процессе фотосинтеза, происходит постепенное снижение концентраций. Основным источником пополнения нитратов в июне и августе являются атмосферные осадки. В сентябре наблюдается плавное увеличение содержания нитратов от поверхности до дна.

В прибрежных районах залива максимальные значения содержания нитратов (8–18 мкг/л) характерны для периода с апреля по август, что вызвано материковым стоком. Только в июне, за счет увеличения разнообразия фитопланктона, их содержание уменьшается и не превышает 4–6 мкг/л на всей акватории залива.

В сентябре–октябре, с началом осеннего «цветения» фитопланктона, содержание нитратов в прибрежных районах снижается до 3–6 мкг/л.

Фосфаты. Содержание фосфатов в зал. Петра Великого во много раз превышает их содержание в открытых водах Японского моря. Летом в связи с развитием фитопланктона и большим потреблением фосфора воды залива обеднены содержанием этого элемента. Осенью фосфатов больше, а весной наблюдается максимальное их содержание. В придонном слое характер годового хода такой же, как на поверхности, но амплитуды колебаний меньше.

Основной закономерностью вертикального распределения фосфатов в зал. Петра Великого, как и в большинстве других регионов Мирового океана, является наличие минимальных концентраций в поверхностном слое. Следует отметить, что особенно низкие концентрации фосфатов наблюдаются в слое фотосинтеза, где происходит интенсивное потребление фосфора в результате жизнедеятельности фитопланктона.

Минимальные вертикальные градиенты фосфатов характерны для осенне-зимнего периода. В этот период за счет конвекции и большой повторяемости штормовых ветров над морем, а также замедленного потребления фосфатов при образовании органического вещества (как следствия недостатка света в результате значительного заглубления сезонного скачка плотности) происходит обогащение поверхностного слоя вод не только фосфатами, но и всеми питательными элементами. Поэтому изменения концентраций фосфатов по вертикали зимой незначительны.

На пространственное распределение фосфатов в поверхностных водах зал. Петра Великого зимой основное влияние оказывают конвективные процессы, в результате которых происходит перемещение фосфатов от придонных горизонтов на поверхность, а также сток рек. В пространственном распределении как на поверхности, так и у дна в течение года наблюдается увеличение количества биогенных веществ по направлению к берегу. Содержание биогенных веществ (особенно солей азота и фосфора) превышает в 3–5 раз их содержание по сравнению с открытыми водами моря.

В прибрежных районах максимальные содержания (20–25 мкг/л) характерны для периода с октября по февраль, а в теплый период года они снижаются до 10–15 мкг/л. Только в августе за счет увеличения речного стока содержание фосфатов может достигать 20 мкг/л. Осенью на поверхности залива содержание фосфатов начинает увеличиваться, что связано со снижением интенсивности жизнедеятельности фитопланктона и начавшимися процессами осенней конвекции [2, 6].

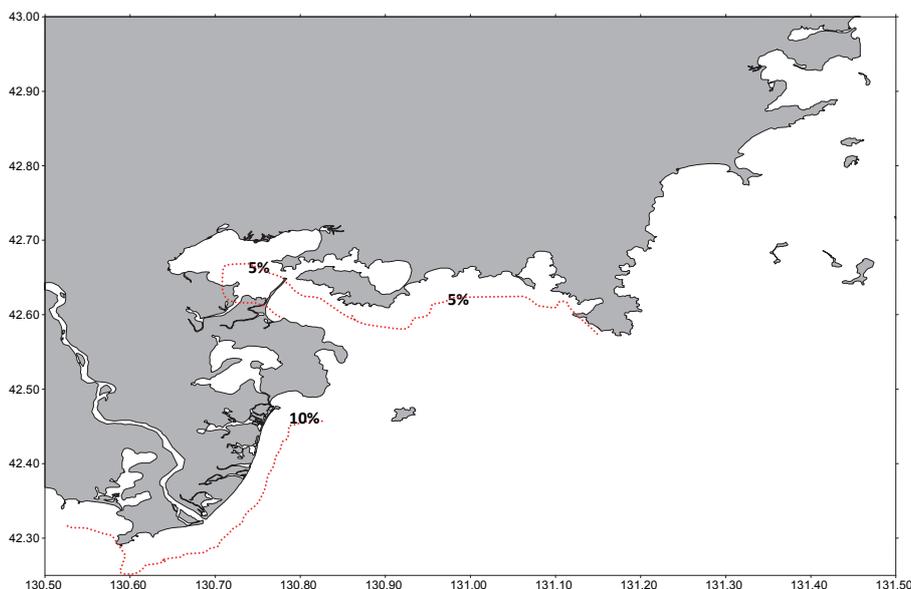
Карбонатная система южной части залива. Из общего взгляда на распределение параметров карбонатной системы (рН, рСО₂, ТА, DIC) южной части залива можно сделать вывод, что прибрежные воды южной части залива чрезвычайно однородны по гидрохимическим свойствам. Концентрации углекислого газа близки к равновесию с атмосферой (поверхностные воды немного пересыщены по отношению к углекислому газу). В частности, концентрации DIC и ТА находятся в интервалах 1,97–2,09 и 2,20–2,24 (ммоль/кг), немного увеличиваясь в направлении открытой части залива.

Освещенность. Грацилярия в Приморском крае обитает на глубине до 2 м. Наибольшая освещенность в этом регионе отмечена в июле-августе. В течение весенне-летнего периода освещенность сильно колеблется от 600 до 1200 мкЕ/м²с в апреле и до 1800–2100 мкЕ/м²с в июле-августе. В период тайфунов, несмотря на высокую освещенность летом, прозрачность воды уменьшается практически до 0,5 м по диску Секки. В это время освещенность на дне, где обитает грацилярия, составляет меньше 0,1 % от поверхностной. Но такие условия сохраняются несколько дней, затем по мере ослабления стока и увеличения прозрачности освещенность доходит до 20 % от поверхностной. Максимальная прозрачность отмечена в августе вместе с максимумом прогрева. В течение года солнечная радиация возрастает от 65 кВт·ч/м² в январе до 167 кВт·ч/м² в мае. Летом она находится на уровне 130–140 кВт·ч/м².

Алгоритм экологического обоснования при выборе оптимального размещения для плантационного культивирования гляцилярии. Согласно проведенному анализу факторов среды обитания объекта и положениям теории надежности можно сформулировать алгоритм оценки возможных рисков при культивировании грацилярии на юго-западе зал. Петра Великого. При этом акваторию для плантационного культивирования гляцилярии следует выбирать как зону минимального допустимого риска, т. е. зону, где все компоненты среды обитания объекта с высокой вероятностью находятся в оптимальных интервалах. Верхней границей суммарного допустимого экологического риска следует считать величину, не превышающую 5 %.

На основании списка факторов, определяющих продуктивность плантационного культивирования грацилярии, на базе собранного архива данных, по разработанному алгоритму (2) были проведены расчеты экологических рисков при возможных реализациях задач плантационного культивирования грацилярии на акватории юго-западной части зал. Петра Великого.

По результатам расчетов даны рекомендации по выбору акваторий для плантационного культивирования грацилярии. Показано, что зона минимальных экологических рисков (менее 5 %) локализуется вблизи береговой линии, захватывая бухты и лагуны. Области с меньшими рисками включают только самые южные лагуны и бухты, которые и являются оптимальными с точки зрения плантационного культивирования грацилярии в юго-западной части зал. Петра Великого (рисунок).



Пространственное распределение акваторий, потенциально пригодных для плантационного культивирования грацилярии. (Точечной линией выделены зоны 5%-го экологического риска при плантационном культивировании грацилярии)

Spatial distribution of water areas potentially suitable for *Gracilaria* plantation cultivation. (Dot line shows zones of 5% environmental risks)

Выводы

На основе сформированного архива гидрометеорологических и гидрохимических данных выполнен анализ лимитирующих параметров среды обитания грацилярии бородавчатой (*Gracilaria verrucosa*). Применяя методы теории надежности, вероятностного анализа и многомерной статистики, разработан алгоритм экологического обоснования формирования биологической продуктивности (грацилярии), на основе которого оценены пространственные ареалы ее возможного культивирования на акватории южно-западной части зал. Петра Великого.

Перспективность плантационного культивирования и эффективность полученных результатов позволяют рекомендовать данный подход для практического использования, а также в обучающем процессе в виде некоторого тренажера для магистров и специалистов-экологов.

Список литературы

1. Гайко, Л.А. Марикультура: прогноз урожайности с учетом воздействия абиотических факторов / Л.А. Гайко. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 203 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VIII. Японское море. Вып.2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. – СПб., 2004. – 268 с.
3. Животные и растения залива Петра Великого. – Л.: Наука, 1976. – 361 с.
4. Козьменко, В.Б. Рост неприкрепленной формы *Gracilaria verrucosa* в лагунах Южного Приморья / В.Б. Козьменко, Э.А. Титлянов, А.М. Макарычева // Биология моря. – 1994. – Т. 20, № 1. – С. 42–48.
5. Лучин, В.А. Типовые распределения океанографических параметров в заливе Петра Великого (Японское море) / В.А. Лучин, Е.А. Тихомирова // Изв. ТИНРО. – 2012. – Т. 169. – С. 134–146.
6. Тихомирова, Е.А. Межгодовые изменения первичной продукции залива Петра Великого (Японское море) / Е.А. Тихомирова // Вестн. ДВО РАН. – 2012. – № 6. – С. 72–81.
7. Тищенко, П.Я. Вклад органического вещества в щелочной резерв природных вод / П.Я. Тищенко, К. Вальманн, Н.А. Василевская, Т.И. Волкова, В.И. Звалинский, Н.Д. Ходоренко, Е.М. Шкирникова // Океанология. – 2006. – Т. 46, № 2. – С. 211–219.
8. Тищенко, П.Я. Карбонатная система эстуария реки Раздольной (Амурский залив Японского моря) / П.Я. Тищенко, Ч.Ш. Вонг, Т.И. Волкова, Л.М. Грамм-Осипов, В.К. Джонсон, О.В. Дударев, В.И. Звалинский, А.П. Недашковский, Г.Ю. Павлова, Р.В. Чичкин, С.Г. Сагалаев, О.В. Шевцова, Е.М. Шкирникова // Биол. моря. – 2005а. – Т. 31, № 1. – С. 51–60.
9. Тищенко, П.Я. Измерение рН в эстуариях с помощью ячейки безжидкостного соединения / П.Я. Тищенко, Р.В. Чичкин, Е.М. Ильина, Ч.Ш. Вонг // Океанология. – 2002. – Т. 42, № 1. – С. 32–41.
10. Хенли, Д. Надежность технических систем и оценка риска / Д. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
11. Dickson A. G. An exact definition of total alkalinity and a procedure for the estimation of alkalinity and total CO₂ from titration data // Deep-Sea Res. – 1981. – Vol. 28. – P. 609–623.
12. DOE. Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water; version 2. – A.G.Dickson and C.Goyet, eds. – 1994. – ORNL/CDIAC-74.

Сведения об авторах: Плотников Владимир Викторович, доктор географических наук, профессор, e-mail: vlad_plot@poi.dvo.ru;

Дубина Вячеслав Анатольевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, e-mail: dubina@poi.dvo.ru.