

Среда обитания водных
биологических ресурсов

УДК 574.583:597–153(265.51)

Состояние планктонных сообществ и кормовая
обеспеченность минтая в северо-западной части
Берингова моря в современный период*Е.П. Дулепова*

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ФГБНУ «ТИНРО-Центр»),
г. Владивосток

E-mail: elena.dulepova@tinro-center.ru

Одним из наиболее высокопродуктивных районов Берингова моря является анадырско-наваринский шельф. С начала 2000-х гг. здесь наблюдается увеличение количества минтая, мигрирующего в российский воды из американской зоны. Особенностью пространственного распределения этого вида в современный период (2013–2015 гг.) является сокращение времени нахождения этой группировки в Анадырско-Наваринском районе. Время начала миграций, и их продолжительность зависит от множества факторов, среди которых кормовая обеспеченность вида. На основании данных планктонных съемок и трофологических исследований (2010–2015 гг.) были проанализированы качественные и количественные характеристики зоопланктона; рассчитана продукция трофических группировок; определены особенности питания минтая. Установлено, что в осенний период наблюдалась сильная изменчивость количественных показателей зоопланктона: средняя биомасса зоопланктона варьировала от 780 до 1658 мг/м³. Продукция нехищного зоопланктона (в основном эвфаузииды и копеподы) составляла 14,8–53,1 млн т. Продукция хищного зоопланктона (в основном, щетинкочелюстные) была оценена в 5–14,2 млн т органического вещества за сезон. В 2013–2015 гг. состав рациона минтая практически соответствовал среднегодовым показателям. Минтай активно использовал в пищу эвфаузиевых (49–88% от величины пищевого комка), копепод (10–27%), аппендикулярий (до 10%). Все эти группы принадлежат к нехищному зоопланктону, отличающемуся высокими продукционными показателями. При этом индексы наполнения желудков минтая в Анадырско-Наваринском районе были заметно выше (70–145,5⁰/₀₀₀), чем восточнее, в американской зоне (57–72,5⁰/₀₀₀), куда он начал «обратные» миграции. Сопоставление всех этих показателей позволяет утверждать, что кормовая обеспеченность минтая в районе исследований находится на достаточно высоком уровне.

Ключевые слова: северо-западная часть Берингова моря, биомасса и продуктивность зоопланктона, миграции минтая, состав пищи, кормовая обеспеченность.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее высокопродуктивных районов Берингова моря является анадырско-наваринский шельф. Здесь в зоне устойчиво-

го антициклонического круговорота и выхода Наваринского течения на шельф Анадырского залива происходит механическое накопление зоопланктона, что благоприятно сказывается

на кормовой базе нектона. Именно поэтому данный район является традиционным районом нагула восточно-беринговоморского минтая [Шунтов и др., 1993; 2000].

История исследования пелагических сообществ западной части Берингова моря (соответственно и сообществ упомянутого выше региона) насчитывает более тридцати лет, в течение которых ежегодно почти по всем районам западной части моря анализировалось состояние планктона с позиций кормовой обеспеченности рыб [Шунтов, Дулепова, 1995; Дулепова, 2002; Волков, 2012 б]. В ходе этих исследований рассматривались и анализировались качественные, количественные, продукционные характеристики зоопланктона, а также особенности питания наиболее массовых видов пелагических рыб.

С начала 2000-х гг. в рассматриваемом регионе наблюдается устойчивая тенденция увеличения количества мигрирующего в российские воды минтая, что связано с ростом его численности [Степаненко, Грицай, 2016; Шунтов, 2016, 2017]. Время начала миграций и продолжительность нахождения этой группировки минтая в российской зоне зависит от большого количества факторов, среди которых немаловажное значение имеет и кормовая обеспеченность вида. Особенностью пространственного распределения этого вида в современный период является сокращение времени нахождения этой группировки в Анадырско-Наваринском районе. Массовый отход восточ-

но-беринговоморского минтая из района нагула в последние годы (2013–2015 гг.) наблюдался уже в конце августа, тогда как ранее этот вид покидал российскую зону в конце сентября — начале октября. Кроме того, на фоне увеличивающихся миграций восточно-американского минтая в российскую зону, в последнее время здесь наблюдалась значительная динамика основных таксономических групп зоопланктона [Волков, 2012 б; Дулепова 2014].

В связи с этим, целью настоящего исследования является оценка современного состояния кормовой базы с учётом продукционного потенциала трофических группировок, а также обеспеченности пищей минтая в северо-западной части моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В основе настоящего сообщения лежит информация о состоянии планктонных сообществ анадырско-наваринского шельфа (районы 3–5) (рис. 1) и трофических характеристиках минтая, полученная в ходе выполнения крупномасштабных комплексных съёмок ТИН-РО-Центра в северо-западной части Берингова моря в 2010–2014 гг. (ранне-осенний период) и в 2015 гг. (летний период). Кроме того, в ходе съёмок 2013–2014 гг. была собрана подобная информация в эксклюзивной экономической зоне США.

Планктон облавливался сетью БСД (капроновое сито № 49 с ячейей 0,168 мм, площадь входного отверстия 0,1 м²) в слое

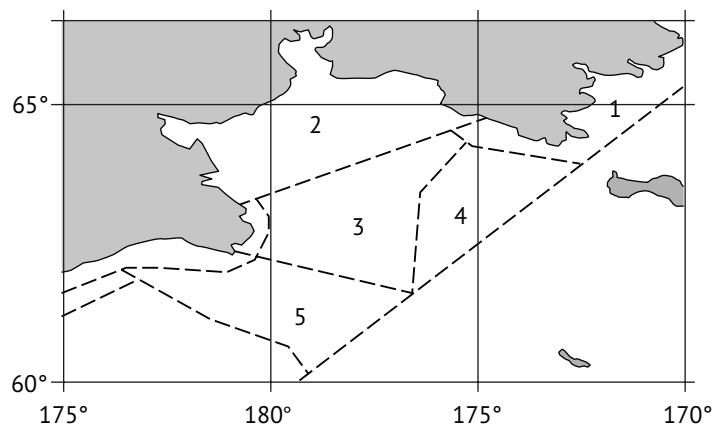


Рис. 1. Карта-схема биостатистических районов северо-западной части Берингова моря:

- 1 — Берингов пролив, 2 — северо-западная часть Анадырского зал., 3 — юго-восточная часть Анадырского зал., 4 — восточная часть Анадырского зал., 5 — Наваринский район

0–200 м (0-дно, если глубина менее 200 м). Скорость подъёма сети составляла 0,7–1,0 м/сек. Обработка проб планктона производится пофракционно в соответствии с методикой, принятой в ТИНРО [Волков, 1996]. В основе её лежат: 1 — принцип механического разделения планктонной пробы на размерные фракции (мелкую, среднюю и крупную) и дальнейшей обработки каждой фракции в отдельности классическими или экспресс-методами; 2 — применение для различных групп планктона дифференцированных коэффициентов уловистости; 3 — оценка кормовой базы нектона применительно ко времени суток, подразумевающая расчёт параметров по дневным и ночным станциям с учётом миграционных особенностей групп организмов.

При расчётах продукционных характеристик зоопланктона были использованы ранее применяемые методики [Дулепова, 2002], позволившие выделить и оценить продукцию двух функциональных элементов: «хищный» и «нехищный» зоопланктон. В группировку «хищный» зоопланктон были включены гиперииды, хетогнаты, полихеты, гребневники и медузы. Эври- и фитофаги (мелкие и крупные копеподы и эвфаузииды) были выделены в группу «нехищного» зоопланктона. Продукция каждой функциональной группировки рассчитывалась на основе данных о её качественном составе, соотношении доминирующих видов и сведений об их суточной удельной продукции. Отличительной чертой настоящей работы является использование при расчётах продукции функциональных групп данных о суточной удельной продукции наиболее массовых видов зоопланктона, полученных для различных сезонов, конкретно для Берингова моря [Шебанова, 2007, 2016; Шебанова, Чучукало, 2009; Шебанова и др., 2014; Чучукало и др., 2013].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Состояние кормовой базы минтая. Зоопланктон рассматриваемых районов может быть отнесён к прибрежным и шельфовым сообществам. [Волков, 2012 б]. Основу биомассы зоопланктона (до 92–97%) в Анадырско-Наваринском районе формировало ограниченное число видов. Среди них копепо-

ды (*Calanus glacialis* Jaschnov, 1955; *Metridia pacifica* Brodsky, 1950; *Pseudocalanus newmani* Frost, 1989; *Eucalanus bungii* Giesbrecht, 1893; *Neocalanus plumchrus* (Marukawa, 1921); *Oithona similis* Claus, 1866), эвфаузиевые (*Thysanoessa raschii* (M. Sars, 1864), *Thysanoessa inermis* (Krøyer, 1846), щетинкочелюстные (*Sagitta elegans* Verrill, 1873) и гиперииды (*Themisto libellula* (Lichtenstein in Mandt, 1822), *Themisto pacifica* (Stebbing, 1888)).

Согласно проведённым исследованиям в осенний период 2010–2014 гг. и в летний период 2015 г. в северо-западной части Берингова моря (анадырско-наваринский шельф) наблюдалась весьма сильная изменчивость количественных показателей зоопланктона: средняя биомасса в этом регионе варьировала от 780 до 1658 мг/м³. Причём наибольшей эта величина была в 2010–2011 гг. (1576–1658 мг/м³), а наименьшей — в 2012–2014 гг. (780–956 мг/м³). Подобное явление для зоопланктона не считается чем-то аномальным. В биомассе, соотношении видов и групп, и, соответственно, в количественном распределении зоопланктона всегда наблюдается значительная межгодовая изменчивость [Шунтов и др., 2007]. Даже в близко расположенных районах под влиянием океанологических условий ход динамики биомасс значительно различается (рис. 2).

Указанные выше существенные изменения биомассы зоопланктона, произошедшие в регионе после 2011 г., в основном, затронули юго-восточную часть Анадырского зал. (3 район) и Наваринского района (5 район). Здесь общая биомасса зоопланктона в 2012 г. снизилась в 2 раза. Наименее резкие перепады были характерны для восточной части Анадырского зал. (4 район), но в отдельные годы (2014 г.) и здесь наблюдалось её снижение.

В этих изменениях задействованы все размерные группы зоопланктона, но определяющая роль в динамике биомассы зоопланктона принадлежит макропланктону и, соответственно, слагающим его таксономическим группам: прежде всего копеподам, в меньшей степени, эвфаузиидам, сагиттам и гипериидам (рис. 3). Так, например, у эвфаузиид и гипериид биомасса в смежные годы отличалась в десятки

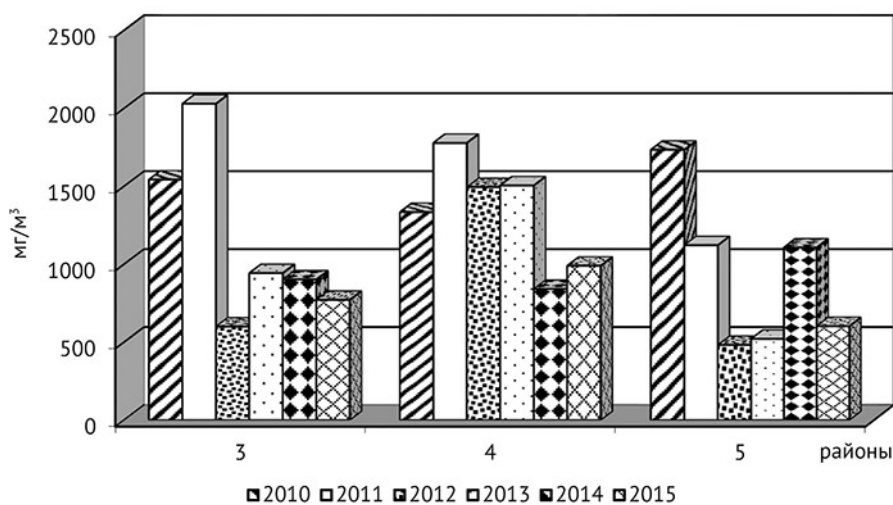


Рис. 2. Динамика биомассы зоопланктона ($\text{мг}/\text{м}^3$) в Анадырско-Наваринском районе. Районы: 3 — юго-восточная часть Анадырского зал., 4 — восточная часть Анадырского зал., 5 — Наваринский район

раз, что и было отмечено для 4-го и 5-го районов. Эти произошло за счёт увеличения биомассы двух видов *T. libellula* (4 район) и *T. raschii* (5 район).

У этих двух видов подобные изменения биомассы наблюдалась неоднократно. Биомасса *T. libellula* в планктонных уловах в Беринговом море была наиболее значительной в 1986–1990, 2000–2002 и 2007–2011 гг. [Волков, 2012 а]. Согласно указанному выше автору, подобная динамика численности и соответственно биомассы *T. libellula*, может быть связана с сочетанием комплекса факторов, среди которых минимальная ледовитость и минимальная солнечная активность. Что же касается динамики биомассы эвфаузиевых (*T. raschii*) в данном районе, то, по мнению целого ряда авторов, резкое снижение и дальнейшее увеличение биомассы объясняется сочетанием как пресса хищников, существенно снижающих биомассу эвфаузиевых за счёт выедания [Дробышева, 1994; Dalpadado, Skjoldal, 1991], так и влиянием климато-океанологических условий [Орлова и др., 2012; Волков, 2002].

В целом, следует отметить, что динамика массовых таксономических групп зоопланктона носит синусоидальный характер и зависит от целого комплекса биотических и абиотических факторов [Шунтов и др., 1993].

Получаемая при крупномасштабных пелагических съёмках информация о биомассах зо-

опланктона позволяет судить о состоянии ресурсов планктона в основном применительно лишь к определённым промежуткам времени. Более объёмную и реальную картину могут дать данные о продукции зоопланктона, которая может быть рассчитана для различных промежутков времени: сутки, месяц, сезон, год [Дулепова, 2002].

Все вышеупомянутые особенности динамики состава трофических группировок, повлияли на величину их продукции (рис. 4). Во все годы исследований (за исключением 2013 г.) продукция нехищного зоопланктона существенно превышала продукцию хищного зоопланктона. Связано это с тем, что видам доминирующим в нехищном зоопланктоне (фито-, эврифагам) свойственно более высокая по сравнению с хищными зоопланктёрами, скорость роста [Дулепова, 2002]. Присутствие в группировке нехищного зоопланктона значительных количеств таких высокопродуктивных видов как *M. pacifica* и *T. rashii* способно существенно повышать общий Р/В-коэффициент такой трофической группировки как фито-, эврифаги. И соответственно отсутствие видов с высоким биопродукционным потенциалом снижает этот показатель. Анализ полученных результатов позволяет заключить, что Р/В-коэффициент фито-, эврифагов в осенний период варьировал от 2,8 до 3,6. Причём наибольшая его величина отмечена для 3-го района в 2010 г. и для

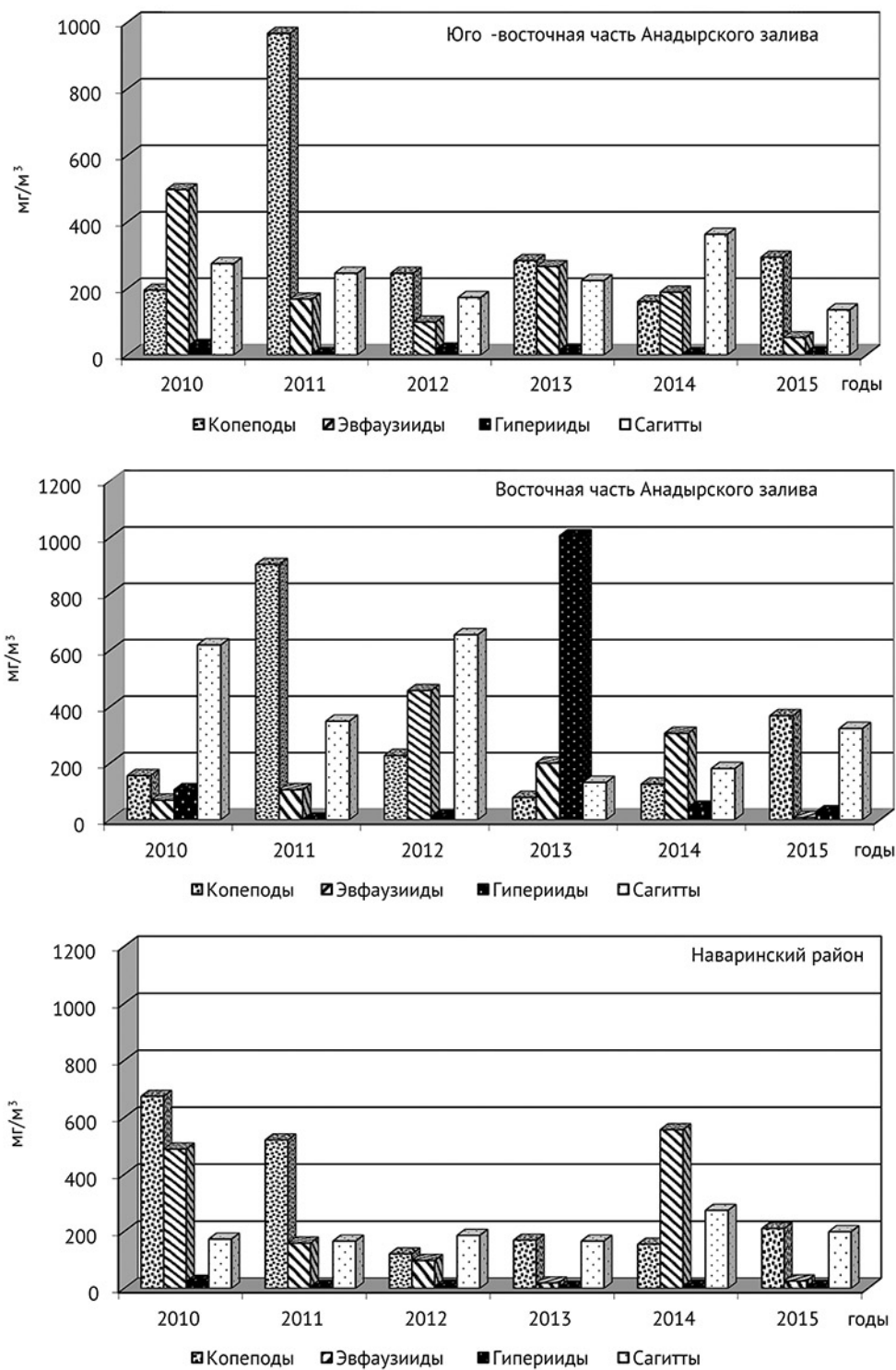


Рис. 3. Динамика биомассы (мг/м³) основных таксономических групп макрозоопланктона в Анадырско-Наваринском районе в 2010–2015 гг.

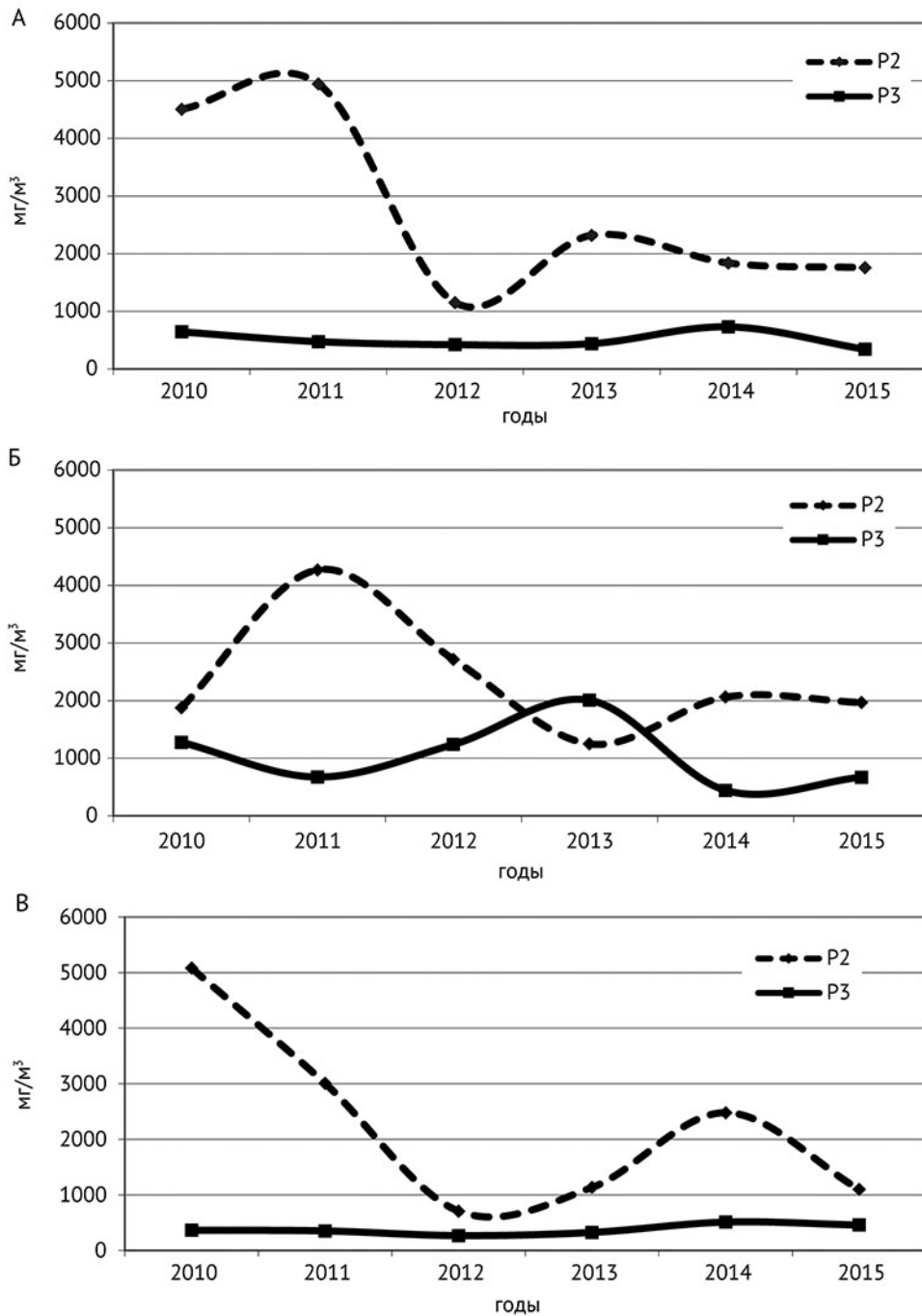


Рис. 4. Динамика продукции ($\text{мг}/\text{м}^3$) трофических гр. в Анадырско-Наваринском районе: P2 — продукция фито-, эврифагов; P3 — продукция хищного зоопланктона; А — юго-восточная часть Анадырского зал.; Б — восточная часть Анадырского зал.; В — Наваринский район

4-го района в 2013 г., наименьшая величина этого показателя наблюдалась исключительно в 3 районе в 2011 и 2013 г. В первом случае при формировании относительно высоких сезонных P/V-коэффициентов это было связано с доминированием упомянутых выше *M.*

pacifica и *T. rashii*, чьи P/V-коэффициенты составляли 5,4 и 4,15 соответственно [Шебанова, Чучукало 2009; Чучукало и др., 2013].

Рост продукции планктонных хищников в 2013 г. объясняется увеличением биомассы *T.libellula*, очень ценного в кормовом отноше-

нии вида, отличающегося значительной скоростью роста и способного повышать общий P/V -коэффициент хищного зоопланктона. Однако за исключением 2013 г., продукция хищного зоопланктона создаётся почти исключительно за счёт щетинкочелюстных (*S. elegans*), и именно эта группа и влияет на формирование P/V -коэффициента в многолетнем плане.

Количество же гиперидов в хищном зоопланктоне в годы исследований незначительно, за исключением упомянутой выше однократной вспышки численности *T. libellula* в 4 районе в 2013 г. Тем не менее наличие представителей этого таксона (особенно *T. pacifica*, чей P/V -коэффициент равен 5,36) даже в незначительных количествах способно повлиять на формирование общего P/V -коэффициента группировки. В целом у хищного зоопланктона на протяжении 6 лет это показатель варьировал в пределах от 1,74 до 2,2.

Подобный темп продуцирования позволяет создавать нехищным зоопланктёрам в среднем от 14,8 и до 53,1 млн т (или от 164 до 590 тыс. т/сутки) органического вещества за осенний сезон, а планктонным хищникам — от 5 до 14,2 млн т (или от 55 до 158 тыс. т/сутки).

Сопоставление продукции хищного и нехищного зоопланктона по районам северо-западной части моря показало, что разброс соотношений P_3/P_2 , характеризующих переход вещества от нехищного зоопланктона к хищному и эффективность функционирования сообщества зоопланктона, весьма значителен (от 0,095 до 1,8 — для осени и от 0,32 до 0,8 — для лета). Превышение продукции хищного зоопланктона над продукцией нехищного (4 район, 2013 г.) в 1,8 раз свидетельствует либо о привносе планктонных хищников как составной части более зрелых сообществ с других акваторий, либо о недоучёте фито-, эврифагов. Подобные результаты получены и для других районов дальневосточных морей [Дулепова, 2002]. В тоже время по классическим правилам следует, что соотношение P_3/P_2 должно быть близко к 0,2 [Одум 1995]. Однако ранее этот коэффициент был получен исключительно для озёр и небольших водоёмов, где нет перемещения некоторых видов (в частности крупных копепод-эврифагов)

в более глубокие слои пелагиали и привноса зоопланктона с других акваторий. «В рассматриваемом Наваринском районе конфигурация свала глубин и кромки шельфа, пересекаемые каньонами, а также направленное с юго-востока хорошо выраженное Центрально-Берингово-морское течение, которое здесь дивергирует на Наваринское и Восточно-Камчатское течения, создают все предпосылки для постоянного привноса со смежных акваторий и накопления планктона в микроциркуляционных образованиях и на вторичных фронтах» [цит. по Шунтову, 2016, с. 36].

В то же время согласно М.Е. Виноградову [1978] при переносе поверхностных вод течениями населяющее их сообщество становится более зрелым, т. е. в данном случае с более высокой долей планктонных хищников.

Все это, учитывая известные особенности питания хищных зоопланктёров [Дриц, Уткина, 1988; Косихина, 1982; Fraser, 1969, и т. д.], и их способность за счёт выедания снижать биомассу нехищного зоопланктона (в основном животные с размерами тела < 3,2 мм) свидетельствует о том, что в отдельные годы в планктонных сообществах могут наблюдаться процессы дестабилизации и некоторого снижения биомассы фито-, эврифагов. Однако приведённые выше оценки продукции свидетельствуют о высоких коэффициентах оборота биомассы (P/V -коэффициенты) и, следовательно, о быстром восстановлении биомассы нехищных планктёров как кормового ресурса нектона. Тем более что в связи с высокой пластичностью питания многих видов нектона его кормовая база помимо нехищного зоопланктона включает в себя планктонных хищников (сагитт и гиперид), мелких рыб и кальмаров, а также личинок донных беспозвоночных [Шунтов и др., 1993].

Особенности питания минтая. Анализ многолетней информации по питанию минтая [Волков, 2016] свидетельствует, что минтай как и другие массовые виды, от которых зависит функционирование пелагической подсистемы и которые определяют уровень выедания зоопланктона, очень пластичен в питании. Минтай способен легко переходить с одного объекта питания на другой, а также при опре-

делённом недостатке излюбленных объектов (эвфаузииды, копеподы) питаться хищным зоопланктоном и мелким нектоном. Тем не менее, каждый из массовых нектонных видов и, минтай в том числе, имеет свои собственные региональные особенности питания. Для минтая Берингова моря характерно, по сравнению с Охотским морем, гораздо более высокое потребление копепод [Чучукало, 2006].

В 2013–2015 г., когда были отмечены «ранние» миграции минтая из российской зоны, состав рациона минтая практически соответствовал среднегодовым показателям (рис. 5). Этот вид в исследуемый период активно использовал в пищу эвфаузию от (49 до 88% от величины пищевого комка), копепод (10–27%), аппендикулярий (до 10%). Выше было указано, что характерной особенностью питания минтая является то, что при

недостаточном количестве «излюбленных» объектов питания (копеподы, эвфаузииды, аппендикулярии) происходит увеличение спектра используемых в пищу групп и видов. То есть при отсутствии излюбленной пищи особи этого вида практически «добирают» или «восполняют» необходимый ему запас энергии за счёт большого количества других (не излюбленных) групп зоопланктона.

В целом, анализ полученной информации позволяет заключить, что наиболее активно используемыми группами в питании минтая с размерами тела до 41 см являются эвфаузииды и копеподы. Эта тенденция, в основном, наблюдается и для старших возрастных групп. Хотя в питании минтая в рассматриваемых двух районах есть некоторые отличия. Если на наваринском шельфе минтай с размерами тела более 30 см питался исключительно излюблен-

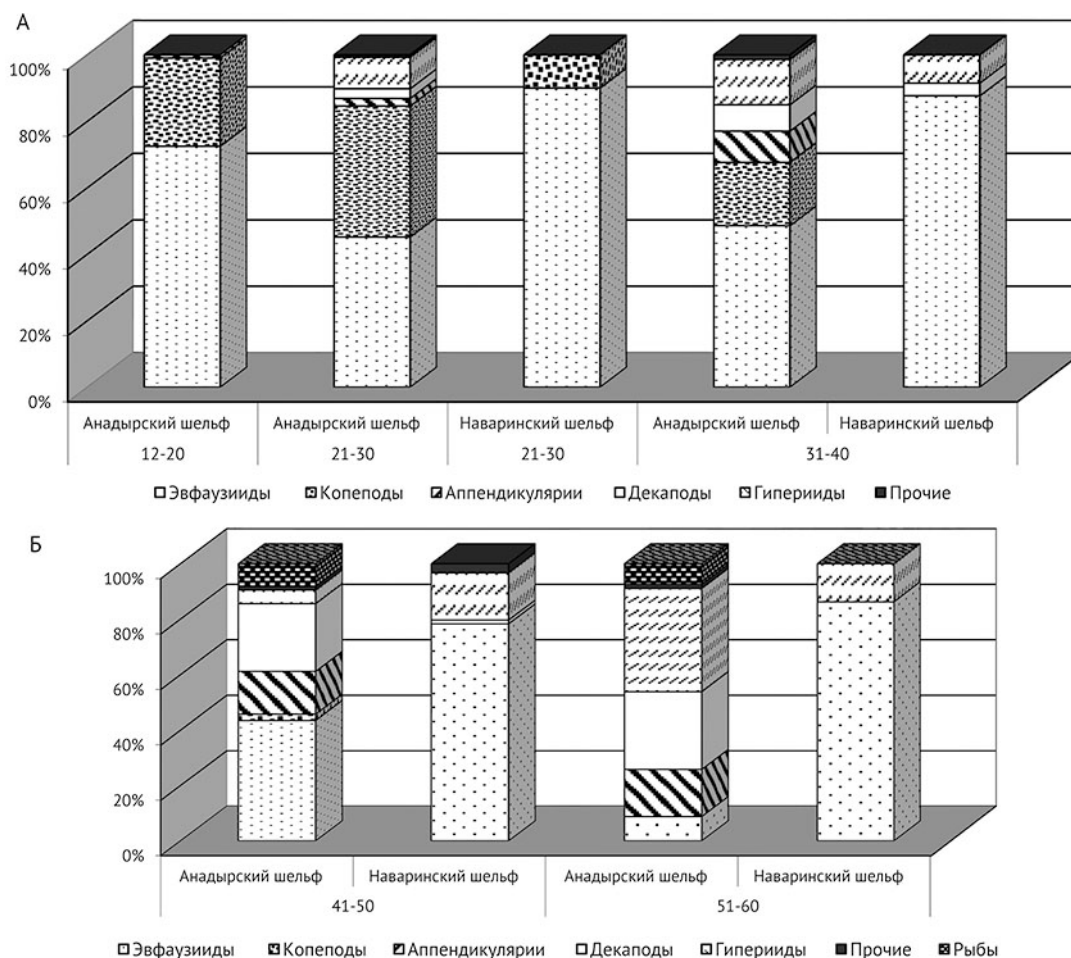


Рис. 5. Состав пищи различных размерных группировок минтая в анадырском (3–4 районы) и наваринском (5 район) шельфе в 2013 г.: А — размерные группы 12–40 см; Б — 41–60 см

ными объектами, то на анадырском шельфе его пища состояла из значительного количества таксономических групп. Таким образом, объём планктонных ресурсов наваринского шельфа вполне удовлетворяет пищевые потребности нагуливавшегося там минтая. Тогда как на анадырском шельфе, в силу особенностей распределения планктёров, возможно, наблюдался некоторый недостаток любимых объектов питания минтая. Тем не менее, минтай легко переходит с одних кормовых объектов на другие и активно перераспределяется по всему анадырско-наваринскому шельфу (в т. ч. и на наваринский шельф). Именно поэтому говорить о катастрофической ситуации с кормовой обеспеченностью в районе исследований не представляется возможным.

Похожая картина наблюдалась и в американской зоне, откуда минтай ежегодно мигрирует в российские воды (рис. 6). Здесь излюбленной пищей питалась исключительно молодь, а начиная с размеров свыше 30 см, количество таксономических групп в пище увеличивается. Все это свидетельствует о возможном недостатке любимых объектов питания и может быть причиной миграций в северо-западную часть Берингова моря.

Судить о кормовой обеспеченности минтая можно не только по количеству зоопланктона в районах нагула, но и косвенно — по наполнению желудков.

Сравнение индексов наполнения желудков минтая из северо-западной и северо-восточной

стороны [Шунтов, 2017], указывает на то, что интенсивность питания в 2014 г. в Анадырско-Наваринском районе была в целом заметно выше ($70-145,5^0/000$), чем восточнее в американской зоне ($57-72,5^0/000$), куда он начал «обратные» миграции. Возможно, минтай к этому времени уже накопил необходимое количество энергетических резервов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ состояния зоопланктонных сообществ северо-западной части Берингова моря в 2010–2015 гг. свидетельствует, что они подвержены значительной межгодовой изменчивости. Эта изменчивость носит синусоидальный характер и зависит от комплекса абиотических и биотических факторов. В период наблюдений биомасса зоопланктона варьировала от 780 до 1658 мг/м³, и основу её составлял макропланктон, представляющий значительную кормовую ценность для минтая и активно используемый им в пищу (эффаузииды, копеподы, щетинкочелюстные и гипериды).

Указанные группы планктона формируют основу трофических группировок (нехищный и хищный зоопланктон). Продукция нехищного хищного зоопланктона составляла в осенний период 14,8–53,1 и 5–14,2 млн т соответственно. Скорость оборота биомассы (Р/В-коэффициент) у нехищного зоопланктона превышает таковую у хищного и составляет 2,8–3,6 и 1,74–2,2 соответственно.

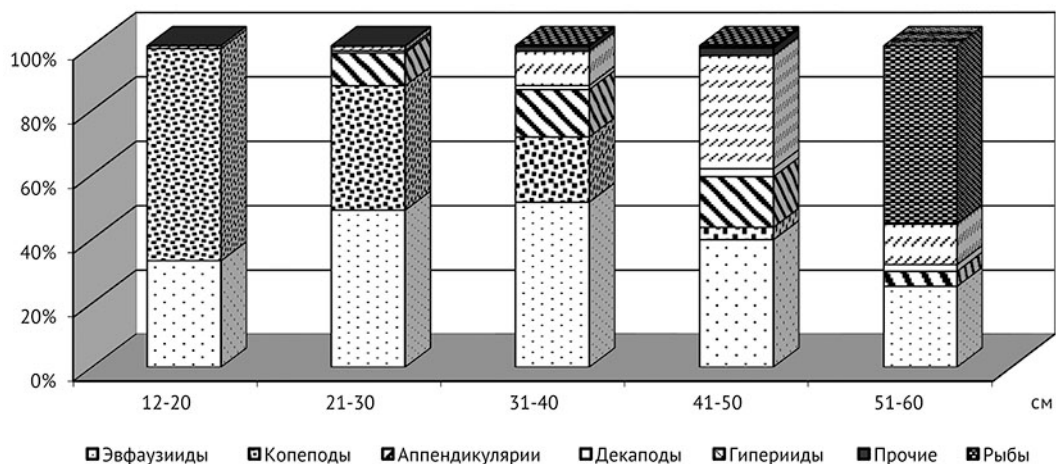


Рис. 6. Состав пищи (%) различных размерных групп минтая (см) в американской зоне в 2013 г.

В целом, современный продукционный потенциал зоопланктона очень высок, что позволяет при кратковременных процессах дестабилизации (превышение продукции хищного зоопланктона над продукцией нехищного) быстро восстанавливаться кормовым ресурсам нектона.

На анадырско-наваринском шельфе минтай практически всех размеров наиболее активно использовал в пищу копепод и эвфаузиид (излюбленная пища). При недостатке этих объектов в отдельных районах шельфа минтай активно перераспределялся в районы с более высокой биомассой копепод и эвфаузиид. Помимо названных групп кормовая база минтая включала в себя планктонных хищников (сагитт и гипериид), мелких рыб и кальмаров, а также личинок донных беспозвоночных.

В американской зоне эвфаузидами и копеподами питалась только молодь с размерами до 31 см. Пища старших возрастных групп состояла из большого количества таксономических групп, что свидетельствует о недостатке любимых объектов питания. При этом интенсивность питания в американской зоне, куда обратно мигрирует из российских вод минтай, была ниже, чем в российских водах (70–145,5 и 57–72,5⁰/₀₀₀ соответственно).

Всё указанное выше позволяет заключить, что состояние планктонных ресурсов и обеспеченность минтая пищей на анадырско-наваринском шельфе находится на высоком уровне и не является причиной ранних «обратных» миграций минтая в американскую зону. Возможно, здесь сказывается влияние множества природных факторов, среди которых в настоящее время очень трудно выделить решающие.

ЛИТЕРАТУРА

- Виноградов М.Е. 1978. Оценка некоторых функциональных характеристик сообществ океанской пелагиали и их изменчивости // Элементы водных экосистем. М.: Наука. С. 3–18.
- Волков А.Ф. 1996. О методике взятия проб зоопланктона // Известия ТИНРО. Т. 119. С. 306–311.
- Волков А.Ф. 2002. Биомасса, численность и размерная структура эвфаузиид в северной части Охотского моря в весенний период 1998–2001 гг. // Известия ТИНРО. Т. 130. С. 336–353.
- Волков А.Ф. 2012 а. Массовое появление *Themisto libellula* в северной части Берингова моря: «вторжение» или «вспышка»? // Известия ТИНРО. Т. 168. С. 142–151.
- Волков А.Ф. 2012 б. Результаты исследований зоопланктона Берингова моря по программе «НРАФС» (экспедиция BASIS). Часть 2. Западные районы. // Известия ТИНРО. Т. 170. С. 151–171.
- Волков А.Ф. 2016. Таблицы и графики по трофологии минтая западной части Берингова моря // Известия ТИНРО. Т. 185. С. 175–185.
- Дриц А.В., Уткина С.В. 1988. Питание *Sagitta setosa* в слоях дневного скопления планктона в Чёрном море // Океанология. Т. 28. № 6. С. 1014–1020.
- Дробышева С.С. 1994. Эвфаузииды Баренцева моря и их роль в формировании промысловой биопродукции. Мурманск: ПИНРО. 139 с.
- Дулепова Е.П. 2002. Сравнительная биопродуктивность макроэкосистем дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО-Центр. 273 с.
- Дулепова Е.П. 2014. Динамика продукционных показателей зоопланктона как основы кормовой базы нектона в западной части Берингова моря // Известия ТИНРО. Т. 179. С. 236–249.
- Косихина О.В. 1982. Исследование питания *Chaetognatha* // Экология моря. Т. 11. С. 79–83.
- Одум Ю. 1975. Основы экологии. М.: Мир. 740 с.
- Орлова Э.Л., Зайцева К.А., Яковлев А.П. 2012. Климат и изменчивость видового состава эвфаузиид Баренцева моря // Вестник МГТУ. Т. 15. № 4. 827–832.
- Степаненко М.А., Грицай Е.В. 2016. Состояние ресурсов, пространственная дифференциация и воспроизводство минтая в северной и восточной частях Берингова моря // Известия ТИНРО. Т. 185. С. 16–30.
- Чучукало В.И. 2006. Питание и пищевые отношения нектона и нектобентоса в дальневосточных морях. Владивосток: ТИНРО-Центр. 484 с.
- Чучукало В.И., Шебанова М.А., Дулепова Е.П., Горбатенко К.М. 2013. Жизненные циклы, соматическая продукция эвфаузиид в Охотском море // Известия ТИНРО. Т. 173. С. 164–183.
- Шебанова М.А. 2007. Продукция нескольких массовых видов копепод в Охотском море в летне-осенний период // Известия ТИНРО. Т. 148. С. 221–237.
- Шебанова М.А. 2016. Соматическая продукция и жизненные циклы сагитты *Parasagitta elegans* в Охотском и Беринговом морях // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана. Мат. IV Межд. науч. — техн. конф. Ч. 1. Владивосток. Дальрыбвтуз. С. 218–223.

- Шебанова М.А., Чучукало В.И. 2009. Биология *Calanus glacialis* в дальневосточных морях // Известия ТИНРО. Т. 156. С. 203–217.
- Шебанова М.А., Чучукало В.И., Горбатенко К.М. 2014. Жизненные циклы, соматическая продукция гипериид в Охотском и Беринговом морях // Известия ТИНРО. Т. 176. С. 155–176.
- Шунтов В.П. 2001. Биологические ресурсы дальневосточных морей. Т. 1. Владивосток: ТИНРО-центр. 580 с.
- Шунтов В.П. 2016. Почему изменяется численность минтая (*Theragra chalcogramma*) // Известия ТИНРО. Т. 185. С. 31–49.
- Шунтов В.П. 2017. Об упрощённых трактовках лимитирующих факторов и динамики численности некоторых промысловых рыб дальневосточных вод // Известия ТИНРО. Т. 189. С. 45–34.
- Шунтов В.П., Дулепова Е.П. 1995. Современное состояние, био- и рыбопродуктивность экосистемы Берингова моря // Комплексн. исследов. экосист. Берингова моря. М: ВНИРО. С. 358–388.
- Шунтов В.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Дулепова Е.П. 1993. Минтай в экосистемах дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО. 426 с.
- Шунтов В.П., Дулепова Е.П., Горбатенко К.М., Слабинский А.М., Ефимкин А.Я. 2000. Питание минтая *Theragra chalcogramma* в анадырско-наваринском районе Берингова моря // Вопросы ихтиологии Т. 40. № 3. С. 362–369.
- Шунтов В.П., Дулепова Е.П., Темных О.С., Волков А.Ф., Найдено С.В., Чучукало В.И., Волвенко И.В. 2007. Состояние биологических ресурсов в связи с динамикой макроэкосистем в экономической зоне дальневосточных морей России // Динамика экосистем и современные проблемы сохранения биоресурсного потенциала морей России. Владивосток: Дальнаука. С. 75–176.
- Dalpadado P., Skjoldal H.R. 1991. Distribution and life history of krill from the Barents Sea // Polar Res. Vol. 10. P. 443–460.
- Fraser J.H. 1969. Experimental feeding of some Medusa and Chaetognatha // J. of the Fisheries board of Canada. Vol. 26. № 7. P. 1743–1762.

Поступила в редакцию 26.09.2018 г.
Принята после рецензии 17.10.2018 г.

Habitat of aquatic biological resources

The current state of plankton communities and food availability for walleye pollock in the western Bering Sea

E.P. Dulepova

Pacific Research Fisheries Centre (FSBSI «TINRO-Centre»), Vladivostok

One of the most highly productive areas of the Bering Sea is the Anadyr-Navarin shelf. Since the early 2000s, the abundance of walleye pollock migrating from the American zone to Russian waters has been observed to increase. A characteristic feature of the spatial distribution of this species in the current period (2013–2015) is the shorter time spent by this group in the Anadyr-Navarin area. The timing of onset of migrations and their duration depend on many factors, including the food availability for the species. Based on the data of plankton surveys and trophological studies (2010–2015), the qualitative and quantitative characteristics of zooplankton were analyzed; the production of trophic groups was calculated; and the feeding habits of walleye pollock were clarified. Pronounced variations in the quantitative parameters of zooplankton were recorded in autumn: the mean zooplankton biomass ranged from 780 to 1658 mg/m³. The production of non-predatory zooplankton (mainly euphausiids and copepods) amounted to 14.8–53.1 million t. The production of predatory zooplankton (mainly chaetognaths) was estimated at 5–14.2 million t of organic matter per season. In 2013–2015, the diet composition of walleye pollock was almost similar to the annual mean values. This fish actively preyed on euphausiids (49–88% of the size of food bolus), copepods (10–27%), and appendicularians (10%). All these groups belong to the non-predatory zooplankton, characterized by high production rates. At the same time, the stomach fullness indices obtained for walleye pollock in the Anadyr-Navarin area were noticeably higher (70–145.5⁰/₀₀₀) than those in more easterly waters, particularly in the American zone (57–72.5⁰/₀₀₀), to which the “reverse” migrations have begun. A comparison of all these values allows a conclusion that the food availability for walleye pollock in the study area is quite high.

Keywords: northwestern Bering Sea, biomass and production of zooplankton, walleye pollock migrations, diet composition, food availability.

REFERENCES

- Vinogradov M.E. 1978. Otsenka nekotorykh funktsional'nykh kharakteristik soobshchestv okeanskoj pelagialii i ikh izmenchivosti [Estimation of some functional characteristics of ocean pelagic communities and their variability] // Elementy vodnykh ehkositsem. M.: Nauka. S. 3–18.
- Volkov A.F. 1996. O metodike vzyatiya prob zooplanktona [About the method of sampling zooplankton] // Izvestya TINRO. T. 119. S. 306–311.
- Volkov A.F. 2002. Biomassa, chislennost' i razmernaya struktura ehvfauziid v severnoj chasti Okhotskogo morya v vesennij period 1998–2001 gg. [Biomass, number and size structure of euphausiids in the northern the Sea of Okhotsk during the spring 1998–2001] // Izvestya TINRO. T. 130. S. 336–353.
- Volkov A.F. 2012 a. Massovoe poyavlenie *Themisto libellula* v severnoj chasti Beringova morya: “vtorzhenie” ili “vspyshka”? [The mass appearance of *Themisto libellula* in the northern Bering Sea: “invasion” or “outbreak”?] // Izvestya. TINRO. T. 168. S. 142–151.
- Volkov A.F. 2012 b. Rezul'taty issledovanij zooplanktona Beringova morya po programme «NPAFC»

- (ehkspeditsiya BASIS). Chast' 2. Zapadnye rajony [The results of studies of the zooplankton of the Bering Sea under the program "NPAFC" (expedition BASIS). Part 2. Western areas] // *Izvestiya TINRO*. T. 170. S. 151–171.
- Volkov A.F. 2016. Tablitsy i grafiki po trofologii mintaya zapadnoj chasti Beringova morya [Tables and graphs on pollock trophology in the western Bering Sea] // *Izvestiya TINRO*. T. 185. S. 175–185.
- Drits A.V., Utkina S.V. 1988. Pitanie *Sagitta setosa* v sloyakh dnevnogo skopleniya planktona v Chernom more [Feeding of *Sagitta setosa* in layers of the daytime plankton aggregation in the Black Sea] // *Okeanologiya*. T. 28. № 6. S. 1014–1020.
- Drobysheva S.S. 1994. Evfauziidy Barentseva morya i ikh rol' v formirovanii promyslovoj bioproduktsii [Euphausiids of the Barents Sea and their role in the formation of commercial bioproductivity] Murmansk: PINRO. 139 s.
- Dulepova E.P. 2002. Sravnitel'naya bioproduktivnost' makroekosistem dal'nevostochnykh morej. [Comparative biological productivity of macroecosystems in the Far Eastern seas] Vladivostok: TINRO. 273 s.
- Dulepova E.P. 2014. Dinamika produktsionnykh pokazatelej zooplanktona kak osnovy kormovoj bazy nektona v zapadnoj chasti Beringova morya [Dynamics of production parameters for zooplankton as a main components of forage base for nekton in the western Bering Sea] // *Izvestiya TINRO*. T. 179. S. 236–249.
- Kosikhina O.V. 1982. Issledovanie pitaniya Chaetognatha [Study of feeding of Chaetognatha] // *Ekologiya morya*. T. 11. S. 79–83.
- Odum Yu. 1975. Osnovy ehkologii [Basic ecology]. M.: Mir. 740 s.
- Orlova E.L., Zajitseva K.A., Yakovlev A.P. 2012. Klimat i izmenchivost' vidovogo sostava ehvfauziid Barentseva morya [Climate and variability of species composition of euphausiids of the Barents Sea] // *Vestnik MGTU*. T.15. № 4. 827–832.
- Stepanenko M.A., Gritsaj E.V. 2016. Sostoyanie resursov, prostranstvennaya differentsiatsiya i vosproizvodstvo mintaya v severnoj i vostochnoj chastyakh Beringova morya [Assessment of stock, spatial distribution, and recruitment of walleye pollock in the northern and eastern Bering Sea] // *Izvestiya TINRO*. T. 185. S. 16–30.
- Chuchukalo V.I. 2006. Pitanie i pishchevye otnosheniya nektona i nektobentosa v dal'nevostochnykh moryakh [Feeding and trophic interaction of nekton and nektobenthos in the Far Eastern seas]. Vladivostok: TINRO-TSentr. 484 s. Vladivostok: TINRO-Tsentr. 484 s.
- Chuchukalo V.I., Shebanova M.A., Dulepova E.P., Gorbatenko K.M. 2013. Zhiznennyye tsikly, somaticheskaya produktsiya ehvfauziid v Okhotskom more [[Life cycles and somatic production of euphausiids in the Okhotsk Sea] // *Izvestiya TINRO*. T. 173. S. 164–183.
- Shebanova M.A. 2007. Produktsiya neskol'kikh massovykh vidov kopepod v Okhotskom more v letnee-osennij period [Production of some mass species of Copepoda in the Sea of Okhotsk in summer-autumn] // *Izvestiya TINRO*. T. 148. S. 221–237.
- Shebanova M.A. 2016. Somaticheskaya produktsiya i zhiznennyye tsikly sagitty *Parasagitta elegans* v Okhotskom i Beringovom moryakh [Somatic production and life cycles of sagittas in the Okhotsk and Bering seas] // *Aktual'nye problemy osvoeniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana. Mat. IV Mezhd. nauch.-tekhn. konf. Ch. 1. Vladivostok. Dal'rybvuz S.* 218–223.
- Shebanova M.A., Chuchukalo V.I. 2009. Biologiya *Calanus glacialis* v dal'nevostochnykh moryakh [Biology of *Calanus glacialis* in the Far-Eastern Seas] // *Izvestiya TINRO*. T.156. S. 203–217
- Shebanova M.A., Chuchukalo V.I., Gorbatenko K.M. 2014. Zhiznennyye tsikly, somaticheskaya produktsiya giperiid v Okhotskom i Beringovom moryakh [Life cycles and somatic production of hyperiids in the Okhotsk and Bering Seas] // *Izvestiya TINRO*. T. 176. S. 155–176.
- Shuntov V.P. 2016. Pochemu izmenyaetsya chislenost' mintaya (*Theragra chalcogramma*) [Why does walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) abundance change?] // *Izvestiya TINRO*. T. 185. S. 31–49.
- Shuntov V.P. 2017. Ob uproshchennykh traktovkakh limitiruyushchikh faktorov i dinamiki chislenosti nekotorykh promyslovykh ryb dal'nevostochnykh vod [On simplified interpretations of limiting factors and dynamics of for abundance for some commercial fishes in the Far Eastern waters] // *Izvestiya TINRO*. T. 189. S. 45–34.
- Suntov V.P., Dulepova E.P. 1995. Sovremennoe sostoyanie, bio- i ryboproduktivnost' ehkositemy Beringova moray [Current status, bio- and fish productivity of the Bering Sea ecosystem] // *Kompleksn. issledov. ehkosit. Beringova morya. M: VNIRO. S.* 358–388.
- Shuntov V.P., Volkov A.F., Temnykh O.S., Dulepova E.P. 1993. Mintaj v ehkositemakh dal'nevostochnykh morej [Walleye Pollock in ecosystems of the far-eastern seas]. Vladivostok. TINRO. 426 s.
- Shuntov V.P., Dulepova E.P., Gorbatenko K.M., Slabinskij A.M., Efimkin A. Ya. 2000. Pitanie mintaya *Theragra chalsogramma* v anadyrsko-

navarinskom rajone Beringova morya [Feeding of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Anadyr-Navarin region in the Bering Sea] // Vopr. ikhtiol. T. 40. № 3. S. 362–369.

Shuntov V.P., Dulepova E.P., Temnykh O.S., Volkov A.F., Najdenko S.V., Chuchukalo V.I., Volvenko I.V. 2007. Sostoyanie biologicheskikh resursov v svyazi s dinamikoj makroehkosistem v

ehkonomicheskoy zone dal'nevostochnykh morej Rossii [The state of biological resources in connection with the dynamics of macro-ecosystems in the economic zone of the Far Eastern seas of Russia] // Dinamika ehkosistem i sovremennye problemy sokhraneniya ioresurnogo potentsiala morej Rossii. Vladivostok: Dal'nauka. S. 75–176.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. The scheme for biostatistical regions of the northwestern Bering Sea:

1 — the Bering Strait, 2 — northwestern Anadyr Bay, 3 — southeastern Anadyr Bay, 4 — eastern Anadyr Bay, 5 — Navarin region

Fig. 2. Changes in the large composition zooplankton (mg/m^3) in the area of the Anadyr-Navarin shelf in 2010–2015: 3 — southeastern Anadyr Bay, 4 — eastern Anadyr Bay, 5 — Navarin region

Fig. 3. Changes in the large composition zooplankton (mg/m^3) in the area of the Anadyr-Navarin shelf in 2010–2015

Fig. 4. Dynamics of production (mg/m^3) of trophic groups in the Anadyr-Navarinsky district:

P2 — production of phyto-, evriphages, P3 — production of predatory zooplankton: 3 — southeastern Anadyr Bay, 4 — eastern Anadyr Bay, 5 — Navarin region

Fig. 5. Food composition of different size groups of pollock on the Anadyr (Regions 3–4) and Navarin (Region 5) shelves in 2013: A — size groups 12–40 cm; B — size groups 41–60 cm

Fig. 6. Food composition of different size groups of pollock in the US EEZ in 2013