

УДК 577.472:681.3

К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ОЦЕНКЕ БИОМАССЫ ЗООПЛАНКТОНА БАРЕНЦЕВА МОРЯ НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

М.А. Новиков

Аннотация

На основе предварительно созданной базы данных (цифровых карт) были рассчитаны величины средней, суммарной и общей биомасс зоопланктона Баренцева моря. Биомассу зоопланктона анализировали по двум основным группам: мезо- и макропланктону. Расчеты производили с использованием ГИС-технологий. Количественные параметры популяций зоопланктона оценивали посредством создания цифровых синтетических карт в растровом формате, отражающих совместное распределение его различных групп. Проведено сравнение полученных результатов с оценками, сделанными ранее другими исследователями. В процессе анализа данных дополнительно вычисляли такие обобщающие характеристики, как продукцию биомассы и P/B -коэффициент.

Одной из важнейших задач морской экологии, имеющих народнохозяйственное значение, является, по мнению Б.И. Сиренко и А.Ф. Алимова [1], изучение количественного распределения жизни в арктических морях. Живое органическое вещество зоопланктона играет ведущую роль в питании рыб, составляющих верхние звенья трофической цепи океана. По мнению Левасту и Ларкинза [2], постоянные запасы (и продукция) планктона и бентоса имеют непосредственное отношение к установлению верхних пределов общей биомассы того или иного морского района, т. е. общей емкости среды и поэтому называются «продукционным демпфером». По этой причине существует настоятельная необходимость в количественных исследованиях величин постоянного запаса планктона и его продуктивности.

Зоопланктон Баренцева моря по видовому составу менее разнообразен, чем в других районах Северной Атлантики, но его биомасса больше. Видовой состав зоопланктона моря представлен более чем 187 видами [3, 4]. В количественном отношении в кормовом зоопланктоне Баренцева моря преобладают две группы ракообразных – копеподы (в основном *Calanus finmarchicus* и *C. glacialis*) и эвфаузииды (преимущественно *Thysanoessa* spp.), создающие в сумме до 90% всей его массы [5]. По этим основным группам зоопланктона – мезозоопланктону и макрозоопланктону – составлены карты суммарной биомассы планктона, которые стали одним из результатов нашего исследования. Последними работами в этом направлении можно считать обобщения, сделанные В.Г. Богоровым с соавторами в конце 1960-х годов для Мирового океана в целом, где, в частности, присутствуют сведения о суммарной и общей биомассах

зоопланктона Баренцева моря [6, 7]. Данные по биомассе гипериид (*Temisto spp.* и др.), ввиду их невысокой роли в откорме промысловых рыб Баренцева моря, не приводятся.

Выполнение компьютерных карт суммарной биомассы зоопланктона является развитием работ по комплексному экологическому картографированию Баренцева моря и осуществлено в рамках методологии, изложенной нами ранее [8, 9]. Расчет цифровой карты суммарной биомассы планктона проводили в рамках созданного нами компьютерного атласа Баренцева моря. Атлас основан на растровой модели организации данных, представляющих собой цифровые карты стандартного размера и формата, и охватывает не всю акваторию моря, а только его южную часть, ограниченную на севере 76° с.ш. – примерно по линии Полярного фронта, а на западе и востоке – примерными географическими границами моря по линии меридианов 20° и $56^{\circ}30'$ в.д. соответственно. Для выполнения синтетических картограмм, отражающих распределение общей биомассы зоопланктона, обрабатывали аналитические цифровые карты биомасс мезозоопланктона (съемка лето–осень 1984 г.) и численности эвфаузиид (усредненные данные за 1953–1990 гг., зимняя съемка). Данные по пространственному распределению мезо- и макрозоопланктона взяты из опубликованных работ [10, 11]. Представленные в указанных материалах карты-схемы оцифровывали. Полученные в результате этого цифровые растровые карты подвергали статистической обработке, а затем выполняли собственно компьютерные картограммы с применением настольного ГИС-приложения *Arcview 3.1*.

Поскольку цифровые аналитические данные в электронном атласе моря представлены в растровом формате, где элементом растра является так называемый промысловый квадрат, весьма удобным представляется приведение данных по биомассе планктона, соотнесенных к площади этих квадратов. Промысловый квадрат – это трапеция регулярной градусной сетки размером $10' \times 30'$ по широте и долготе соответственно, принятая на Баренцевом море для ведения рыболовной статистики.

Карты общей биомассы планктона рассчитывали путем суммирования цифровых аналитических карт по двум указанным группам организмов мезозоопланктону и эвфаузиидам (макрозоопланктону). При расчетах биомассы эвфаузиид на основе данных по их численности средний вес одной особи устанавливали как 70 мг [10]. Величину деятельного слоя водной толщи для зоопланктона принимали за 50 м [12–14].

Используемая нами для оцифровки картограмма состояния максимальных биомасс мезозоопланктона в летний период 1984 г. (июнь–август) соответствует среднему в многолетнем аспекте положению дел (для умеренных лет по тепловому содержанию вод) [3, 11]. Как известно [11], обычно на западе моря прогрев вод и весенне-летнее развитие зоопланктона наступают раньше, чем на востоке, поэтому к августу на западе моря поверхностные воды становятся беднее из-за опускания планктона, а к востоку от «Кольского меридиана» – богаче. Наиболее богатые скопления мезозоопланктона часто отмечаются в период конца лета – начала осени на акватории в пределах 40 – 46° в.д. Так, в умеренном 1984 году максимальные скопления мезозоопланктона, в основном состоящие из калянуса, наблюдались именно в летний, а не в весенний, как обычно,

период. Хотя в целом в 1980-е годы биомассы мезозoopланктона принято характеризовать как более высокие по сравнению с 1960–1970-и годами, в 1984 г. биомасса мезозoopланктона находилась на среднем уровне [3].

Статистический обсчет данных полученной нами цифровой карты показал, что средняя биомасса мезозoopланктона составляла летом 1984 г. 3368.0 т под промысловым квадратом (по исходным данным – 217 мг/м³) или 10.9 т/км², а его общая биомасса на всей выделенной площади Баренцева моря равнялась 9.54 млн. т. Величина средней биомассы мезозoopланктона, вычисленная по исходной картограмме (216 мг/м³), вполне согласуется с обобщенными многолетними данными, представленными в ряде работ для западной и южной частей Баренцева моря [3, 15–18]. Обнаружено также значительное совпадение полученных результатов с данными Яшнова [19], оценившим среднюю биомассу *C. finmarchicus* в западной части моря в июле 1930 г. как 13.5 т/км². Если ввести также поправку на разницу в районах исследований Яшнова и наших (исключить ряд восточных районов), то наша величина 10.9 т/км² несколько увеличится и составит в среднем для указанных в его работе районов моря 13.1 т/км². В таком совпадении нет ничего удивительного, так как средняя биомасса мезозoopланктона для июля, использованная в работе Яшнова, была рассчитана им как 206 мг/м³ [19].

Полученные данные мы попытались сравнить с результатами исследований, опубликованных ранее [7]. В данной краткой сводке приводятся материалы обобщений по плотности распределения и общей биомассе мезозoopланктона, сделанных для разных районов Мирового океана, как в поясном, так и океанографическом аспектах. Интересно, что если по данным, приводимым Богоровым, косвенно рассчитать значение биомассу мезозoopланктона на выделенной нами акватории Баренцева моря ($S \sim 0.877$ млн. км²), то оно (9.44 млн. т) практически совпадает с нашим значением, приведенным выше.

Известно, что количество эвфаузиид, усредненное по сетным уловам для всего Баренцева моря, составляет 3.6–4.0 экз./м³, однако массовые скопления на северо-западных и юго-восточных банках Баренцева моря могут быть значительно плотнее. В этих районах уловы достигали 30–50 экз./м³ [5, 20]. По данным Тимофеева [4] среднее содержание двух наиболее массовых эвфаузиид в южной части Баренцева моря *Thysanoessa inermis* и *T. raschii* в июле составляет около 3.5 экз./м³. Согласно Дробышевой [11], местами массовых скоплений эвфаузиид являются северо-западные и юго-восточные мелководья Баренцева моря с глубинами 100–200 м. По этим данным и данным, рассчитанным нами, богатые скопления (биомасса более 4680 т на квадрат) имеют вид локальных пятен в пределах одной водной массы; аналогичное распределение замечено и в отношении скоплений малой мощности (менее 680 т). Скопления же средней мощности (680–4680 т) занимают обширные зоны на участках с разными водными массами. На западе, например, это Прибрежная и Основная ветви Мурманского течения, на востоке – Прибрежная и Основная ветви Новоземельского течения – и ограничены лишь изобатами.

Статистический обсчет данных выполненной цифровой карты выявил, что средняя биомасса эвфаузиид (макрозoopланктона) составляла в период 1953–1990 гг. 2976.6 т. под промысловым квадратом (или около 188 мг/м³, или

9.6 т/км²), а их общая биомасса на всей выделенной площади моря равнялась 8.34 млн. т. Величина средней биомассы эвфаузиид в Баренцевом море, рассчитанная нами по цифровой картограмме, – 188 мг/м³ – вполне согласуется со средней величиной в 190 мг/м³, выведенной из опубликованных материалов [5]. Предпринятая ранее [21, 22] попытка подсчитать общую биомассу упомянутых двух основных видов эвфаузиид Баренцева моря привела к величине порядка 10 млн. т. По указанию авторов, эта величина рассчитана для акватории, составляющей 2/3 от общей площади моря, – области обитания эвфаузиид. Распространение наших данных по биомассе эвфаузиид на аналогичные 2/3 акватории моря (0.949 млн. км²) дает суммарную оценку в 9.0 млн. т.

Статистический анализ цифровой карты суммарной биомассы зоопланктона показал, что средняя биомасса планктона составляет 6344.6 т под промысловым квадратом, или 405 мг/м³, а его общая биомасса на всей выделенной площади моря равнялась 17.88 млн. т. Располагая данными по общей биомассе зоопланктона и соответствующими сведениями из научной литературы, можно рассчитать значение *P/B*-коэффициента. Годовая продукция зоопланктона Баренцева моря в 1970–1980-е годы составляла величину порядка 70 млн. т [23], отсюда с поправкой на всю акваторию моря годовой *P/B*-коэффициент для зоопланктона составил 2.4 (70:(17.88·1.62)). Полученное число представляется достаточно реальным, если принять во внимание, что для мезозоопланктона (*C. finmarchicus*) можно определить значение *P/B*-коэффициента как 2.7, а для эвфаузиид значение этого коэффициента – не менее 2 [24].

Здесь следует оговориться, что к прямому суммированию данных по мезо- и макрозоопланктону, полученных в различных временных масштабах и в разные годы, следует относиться критически, так как оно отражает в общем-то гипотетическую ситуацию. В реальности суммарная биомасса зоопланктона в море сильно зависит от степени выедания его различных групп массовыми видами баренцевоморских рыб: мойвой, сайкой, сельдью и молодь трески. От характера распространения планктонофагов, их численности и пищевых предпочтений, а также от климатических условий обитания и прохождения стадий онтогенеза самих представителей зоопланктона зависит конечная ситуация с его обилием на той или иной акватории в тот или иной промежуток времени. Так, численность эвфаузиид в период зимней съемки превосходит численность их преднерестовых скоплений весной. Однако уже в конце весны их численность существенно падает из-за выедания мойвой, а к концу лета (август–сентябрь) размер взрослой части популяции снижается до минимума по причине выедания ослабленных отнерестившихся особей молодь трески и крупной (более 16–17 см) мойвой. В этот же период наблюдается максимум летней биомассы мезозоопланктона. Однако представленные цифры суммарных биомасс могут быть весьма полезны для расчета показателей продукции моря и его кормовой базы.

Средняя биомасса зоопланктона Баренцева моря по нашим расчетам – 20.5 г под м² (т/км²). Близкое значение – в пределах 30 т/км² – для тех же организмов зоопланктона Баренцева моря имеется в литературе [25]. Для сравнения, по данным Моисеева [26], для Японского моря аналогичная величина составляет 5.4 т/км², для Охотского – 13.0 т/км², для Берингова – 28 т/км², для

Каспийского – 13.8 т/км², для Черного – 47.4 т/км², а для Азовского – 5.3 т/км². При этом годовой *P/B*-коэффициент для зоопланктона перечисленных морей составлял 10, 10, 4, 10, 15 и 30 соответственно [26]. Для Норвежского моря средняя годовая биомасса зоопланктона в 1959–1960 гг. составляла 13.9 т/км², а значение *P/B*-коэффициента равнялось 4.0 [27]. Таким образом, величина средней биомассы зоопланктона Баренцева моря располагается где-то посередине между аналогичными параметрами Норвежского и Берингова морей. Важным моментом является тот факт, что, в отличие от формально самого богатого зоопланктоном Черного моря, зоопланктон Баренцева моря фактически на 90 и более процентов представлен ценными кормовыми видами, в то время как в Черном море кормовой зоопланктон составляет в разные годы лишь 10–30% от общего [28].

Представленные выше материалы показали эффективность применения цифровых растровых картографических данных для анализа биомасс зоопланктона Баренцева моря. Расчеты, выполненные в рамках электронного атласа, обнаружили высокую достоверность получаемых результатов по сравнению с таковыми, полученными с использованием более трудоемких традиционных методов.

Несмотря на отмечаемое рядом авторов относительное увеличение биомассы мезозоопланктона в 1980-х годах [5, 29], в целом имеет место значительная стабильность величин биомассы мезозоопланктона Баренцева моря на протяжении практически всего XX века. В отношении обилия мезо- и макрозоопланктона можно заметить, что в трофической цепи Баренцева моря эти группы зоопланктона в большинстве случаев вследствие избирательности питания хищников взаимно дополняют друг друга и редко одновременно достигают большой численности.

Summary

M.A. Novikov. Zooplankton biomass based on GIS-technologies.

Based on preliminary developed database of data (digital maps) the sizes of average, total and summary biomasses of the Barents Sea zooplankton were calculated. Zooplankton biomass was analyzed for two main groups: meso- and macroplankton. Calculations were performed using GIS-technologies. Quantitative parameters of plankton populations were estimated by creation of digital synthetic bitmaps that showed simultaneous distribution of different zooplankton groups. Results obtained were compared with estimations, which were made by other investigators earlier. In addition of data analysis were estimated such general characteristics as production of biomass and *P/B*-coefficient.

Литература

1. *Сиренко Б.И., Алимов А.Ф.* Арктические морские экосистемы // Рациональное природопользование и управлением морскими биоресурсами: экосистемный подход: Тез. докл. междунар. конф. Владивосток, 23–26 сент. 2003 г. – Владивосток, 2003. – С. 14–17.
2. *Левасту Т., Ларкинз Г.* Морская промысловая экосистема. – М.: Агропромиздат, 1987. – 165 с.

3. Планктон морей Западной Арктики / Отв. ред. Г.Г. Матишов. – Апатиты: КНЦ РАН, 1997. – 352 с.
4. Тимофеев С.Ф. Экология онтогенеза эвфаузиевых ракообразных (*Crustacea*, *Euphausiacea*) северных морей. – СПб.: Наука, 1996. – 156 с.
5. Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря / Под ред. Г.Г. Матишова. – Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1985. – 218 с.
6. Богоров В.Г., Виноградов М.Е., Воронина Н.М., Канаева И.П., Суетова И.А. Распределение биомассы зоопланктона в поверхностном слое Мирового океана // Докл. АН СССР. – 1968. – Т. 182, № 5. – С.1205–1207.
7. Богоров В.Г., Марков К.К., Суетова И.А. Биомасса мезопланктона в различных климатических поясах в поверхностном слое мирового океана // Докл. АН СССР. – 1969. – Т. 188, № 1. – С. 209–211.
8. Новиков М.А. Эколого-рыбохозяйственное картографирование акваторий Баренцева и Белого морей: теоретические основы и методические подходы. – Мурманск: ПИНРО, 2002. – 91 с.
9. Новиков М.А. Оценочное эколого-рыбохозяйственное районирование морских акваторий // Водные ресурсы. – 2004. – Т. 31, № 2. – С. 199–208.
10. Дробышева С.С. Эвфаузииды Баренцева моря и их роль в формировании промысловой биопродукции. – Мурманск: ПИНРО, 1994. – 139 с.
11. Баканев В.С., Беренбойм Б.И., Дробышева С.С. и др. Живые ресурсы пелагиали и бентали Баренцева моря в районе обустройства и эксплуатации Штокмановского газоконденсатного месторождения (ГКМ). – Мурманск: ПИНРО, 1997. – 83 с.
12. Дегтерева А.А. Зависимость численности и биомассы планктона от температуры в юго-западной части Баренцева моря // Тр. ПИНРО. – 1973. – Вып. 33. – С.13–23.
13. Зеликман Э.А. Сообщества арктической пелагиали // Биология океана. Т. 2. Биологическая продуктивность океана. – М.: Наука, 1977. – С. 43–55.
14. Исследования межвидовых взаимоотношений гидробионтов Баренцева и Норвежского морей: сб. науч. тр. ПИНРО / Отв. ред. А.А. Филин. – Мурманск: ПИНРО, 2006. – 254 с.
15. Дегтерева А.А. Закономерности количественного развития зоопланктона в Баренцевом море // Тр. ПИНРО. – 1979. – Вып. 43. – С. 22–53.
16. Павитикс Е.А. О количестве зоопланктона в высоких широтах Северного Ледовитого океана и его роли в жизненном цикле рыб // Биологические ресурсы Арктики и Антарктики. – М.: Наука, 1987. – С. 60–89.
17. Дегтерева А.А., Нестерова В.Н., Панасенко Л.Д. Особенности формирования кормового зоопланктона в районах нагула мойвы Баренцева моря // Кормовые ресурсы и пищевые взаимоотношения рыб Северной Атлантики. – Мурманск: ПИНРО, 1990. – 228 с.
18. Мусаева Э.И., Гагарин В.И. Распределение биомассы зоопланктона Баренцева моря осенью 1997 г. // Океанология. – 2000. – Т. 40, № 4. – С. 569–573.
19. Яшинов В.А. Биология *Calanus finmarchicus* Баренцева моря. Смена поколений и сезонные изменения в распределении возрастных стадий // Тр. ВНИРО. – 1939. – Т. 4. – С. 225–245.
20. Зеликман Э.А., Лукашевич И.П., Дробышева С.С. Круглогодичность суточных вертикальных миграций эвфаузиид *Thysanoessa inermis* и *Thysanoessa raschii* // Океанология. – 1979. – Т. 19, Вып. 1. – С.132–138.
21. Зеликман Э.А., Лукашевич И.П., Дробышева С.С., Дегтерева А.А. Колебания численности выметываемых яиц у баренцевоморских ракообразных *Thysanoessa*

- inermis* Kr. и *T. raschii* (M. Sars) (Euphausiacea) // Океанология. – 1980. – Т. 20, Вып. 6. – С. 1090–1097.
22. *Дробышева С.С.* Справочный материал о многолетнем распределении эвфаузиевых рачков – кормовых зон промысловых рыб Баренцева моря. – Мурманск: ПИНРО, 1988. – 128 с.
23. *Матишов Г.Г., Павлова Л.Г.* Общая экология и палеогеография полярных океанов. – Л.: Наука, 1990. – 224 с.
24. *Mauchline J.* Biology of Euphausiids. – London: Academic Press, 1969. – 454 p.
25. *Sakshaug E., Bjorge A., Gulliksen B.* Structure, biomass distribution, and energetics of the pelagic ecosystems in the Barents Sea: A synopsis // Polar Biol. – 1994. – V. 14. – P. 405–411.
26. *Моисеев П.А.* Биологические ресурсы Мирового океана. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
27. *Тимохина А.Ф.* О продукции зоопланктона в различных водных массах Норвежского моря // Тр. ПИНРО. – 1964. – Вып. 16. – С. 165–181.
28. *Березина Н.А.* Гидробиология. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 360 с.
29. *Нестерова В.Н.* Биомасса планктона на путях дрейфа личинок трески (справочный материал). – Мурманск: ПИНРО, 1990. – 64 с.

Поступила в редакцию
15.06.07

Новиков Михаил Аркадьевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории прикладной экологии и токсикологии Полярного НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, г. Мурманск.

E-mail: mnovik@pinro.ru