

Многовидовой подход к управлению эксплуатацией биоресурсов Баренцева моря

А.А. Филин, В.Л. Третьяк, А.В. Долгов – ПИНРО

В настоящее время при оценке запасов и регулировании промысла морских гидробионтов определяющее значение приобретает создание многовидовых математических моделей, обобщающих взаимоотношения промысловых объектов в биоценозе. Имеется немало примеров, свидетельствующих о том, что недоучет межвидовых взаимоотношений при обосновании стратегии промысла существенным образом отражается на результатах рыбохозяйственной деятельности.

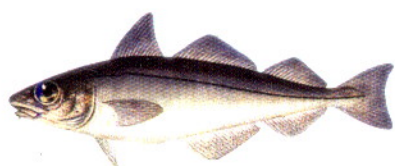
Необходимость использования многовидового подхода при выработке рекомендаций по эксплуатации морских биоресурсов в Баренцевом море стала очевидной в 80-е годы. В этот период в экосистеме моря наблюдались структурные и функциональные изменения, обусловленные динамикой численности наиболее массовых видов гидробионтов. Так, запас баренцевоморской мойвы (основной кормовой объект для большинства хищников) под воздействием широкомасштабного промысла и неблагоприятных естественных факторов оказался в депрессивном состоянии. Численность атлантико-скандинавской сельди катастрофически снизилась еще в конце 60-х годов. Лишь в 1983 г. появилось ее урожайное поколение и часть молоди была занесена в Баренцево море. Наличие неполовозрелой атлантико-скандинавской сельди в Баренцевом море отрицательно сказывается на пополнении мойвы

вследствие пищевой конкуренции этих видов и прямого хищничества сельди по отношению к личинкам мойвы (*Huse G., Toresen R. Predation by juvenile herring (Clupea harengus L.) on Barents sea capelin (Mallotus villosus Muller) larvae// Precision and relevance of pre-recruit studies for fishery management related to fish stocks in the Barents sea and adjacent waters: Proceedings of the sixth IMR-PINRO Symp. – IMR, Bergen, Norway, 1995. – P. 59–73*). Снижение запаса мойвы как основного кормового объекта трески замедляет темп роста трески и увеличивает каннибализм (*Рост аркто-норвежской трески/Ожигин В.К., Ярагина Н.А., Третьяк В.Л., Ившин В.А. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1996. – 60 с.*). Это отрицательно отражается на репродуктивном потенциале трески и условиях выживания ее молоди. Треска совершает протяженные и длительные миграции на восток моря, где откармливается сайкой, которая служит важным объектом питания для птиц и морских млекопитающих. В условиях снижения запаса мойвы меняются кормовые миграции гренландского тюленя, усиливается пресс его хищничества на рыб тресковых видов. Все это свидетельствует о том, что стратегия управления промыслом в Баренцевом море должна основываться на многовидовом

подходе, учитывающем многообразие трофических связей в биоценозе. При этом интерес представляют не только влияние хищника на популяцию жертвы, но и обратная связь. Продуктивность популяции хищных рыб (в Баренцевом море – треска) зависит от состояния кормовых объектов, которые могут служить и объектами промысла. Подобные взаимоотношения также должны являться предметом многовидового моделирования.

Несмотря на то, что принципы многовидового подхода неоднократно декларировались в решениях международных рыбохозяйственных организаций (ФАО, ИКЕС, НАФО и др.), существенный прогресс в их практической реализации пока не достигнут. В качестве положительного примера отметим учет смертности баренцевоморской мойвы в результате хищничества трески при расчетах ее ОДУ (*Anon. Report of the northern pelagic and blue whiting fisheries working group// ICES CM 2001/ACFM:17. – 239 pp.*). На рабочей группе ИКЕС по арктическому рыболовству предпринимаются попытки прогнозировать уровень каннибализма у трески в зависимости от биомассы популяции мойвы, а также смертность молоди пикши вследствие хищничества трески.

Основная причина, сдерживающая внедрение многовидового подхода в практику управления промыслом, – отсутствие надежных моделей, позволяющих количественно оценивать межвидовые взаимоотношения промысловых объектов. Целенаправленные исследования по многовидовому моделированию в ПИНРО ведутся с конца 80-х годов в сотрудничестве с норвежскими учеными. Накоплена российско-норвежская база данных количественного анализа питания гидробионтов Баренцева моря, являющаяся информационной



основой для создания многовидовых моделей (Мель С., Ярагина Н.А. Методы и результаты выполнения совместной программы ПИНРО-БИМИ по исследованию желудков трески // Исследования взаимоотношений популяций рыб в Баренцевом море: Сб. докл. 5-го сов.-норв. симп. – Мурманск: ПИНРО, 1992. – С. 5–19).

ПИНРО и Бергенский институт морских исследований (БИМИ, Норвегия) с середины 80-х годов проводят массовые сборы проб желудков рыб Баренцева моря в рамках программы «Исследования взаимоотношений запасов промысловых гидробионтов в Баренцевом море». В настоящее время база данных включает информацию о содержимом более 247 тыс. желудков рыб (табл. 1). Ее основу составляют материалы по анализу содержимого желудков трески и пикши – соответственно 76 и 12 % от общего количества исследованных желудков. С 1994 г. сотрудниками ПИНРО регулярно собираются материалы по питанию черного палтуса, камбалы-ерша, звездчатого ската; периодически – морских окуней, сайды, скатов, пелагических рыб (путассу, сельдь, мойва и сайка).

Предложена методика расчетов рационов трески на основе данных содержимого желудков; в ее основе лежит модель скорости переваривания пищи, разработанная Сантосом (Богстад Б., Мель С. Потребление различных видов жертв северо-восточной арктической

треской в 1984 – 1989 гг. // Исследования взаимоотношений популяций рыб в Баренцевом море: Сб. докл. 5-го сов.-норв. симп. – Мурманск: ПИНРО, 1992. – С. 101–117). При расчетах рационов используются фактические осредненные данные по составу и массе содержимого желудков трески разных возрастных групп. Дискретность временной агрегации данных равняется кварталу или полугодю. Данные могут быть объединены в пределах всего Баренцева моря или отдельно по трем районам ИКЕС. Несмотря на то, что объем данных по питанию трески достаточно велик, в оценках потребления присутствует элемент неопределенности; это связано с неравномерностью распределения собранных материалов по возрастным группам рыб, районам и сезонам года. Для расчетов рационов помимо информации о содержимом желудков требуются данные о температуре воды и средней массе рыб, а для оценки общего потребления пищи – о численности рыб в каждой возрастной группе.

Расчеты годового потребления пищи треской в Баренцевом море, проводимые ПИНРО и БИМИ, с 1996 г. представляются на рабочие группы ИКЕС, где рассматриваются при оценках запасов и выработке рекомендаций по управлению промыслом (рис. 1). Кроме трески и пикши, расчеты потребления пищи выполнены также для камбалы-ерша (Dolgova N.V., Dolgov A.V. Stock status

and predation of long rough dab (*Hippiglossoides platessoides*) in the Barents and Norwegian Seas // ICES CM 1997/HH:05. – 16 pp.), звездчатого ската и черного палтуса (табл. 2).

Трофическая структура экосистемы Баренцева моря во многом зависит от видового состава гидробионтов и соотношения их численности. В последние годы, в связи потеплением, отмечены смещение ареалов атлантических видов в северном направлении и появление новых видов рыб, ранее распространявшихся южнее. Подобные изменения могут привести к увеличению пищевой конкуренции и влияния хищничества на молодь промысловых гидробионтов. Так, например, численность путассу в Баренцевом море с 1999 по 2001 г. возросла более чем в 10 раз, а биомасса – с 110 тыс. до 875 тыс. т. Путассу может стать пищевым конкурентом для мойвы и сельди, а также оказывать влияние на пополнение трески, пикши и других промысловых рыб. Поэтому для изучения динамики видовой и трофической структуры ихтиоценоза регулярно собираются данные по видовому составу уловов, размерному составу и биологии всех видов рыб.

Объектами многовидового моделирования должны стать и морские млекопитающие, прежде всего – гренландский тюлень и кит малый полосатик. По оценкам норвежских специалистов гренландский тюлень в Баренцевом море

Таблица 1

Количество желудков рыб различных видов в базе данных по количественному анализу питания гидробионтов Баренцева моря, экз.

Вид	Год																			Сумма		
	До 1984	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001		2002	
Треска	5917	3731	3879	6064	5944	5696	7828	8443	6671	5217	7660	7554	10601	11772	12037	15433	11148	9336	20586	13389	178906	
Пикша	385	593	1226	1242	1025	2510	2472	2374	1159		484	731	912	1100	1998	2873	1783		6313	4498	33678	
Камбала-ерш							30	10	85	49		182	75	736	690	1392	626	1607	1278	2186	8946	
Палтус черный								39	145			25	368	223	1292	1664	763	524	2164	952	8159	
Скат звездчатый											131	2	331	448	383	166	156	68	545		2230	
Окунь-клевач														8	497	443	77	1340	810	215	3390	
Скат круглый														32	5	29		19			85	
Скат гладкий													3	18		15		3			39	
Скат шипохвостый														1	2			2			5	
Скат северный																6	25			19	50	
Сайда									19					8	31	1	208	46	10	827	805	1955
Путассу																494		450	330	125	1399	
Сельдь		125	50	9											300	98	300	300			1182	
Мойва		432	98	364	50		729								420	172	1030	200			3495	
Сайка				208	488	752	625									175	150	150			2548	
Прочие																			197	899	1096	
Всего	6302	4881	5253	7887	7507	8958	11684	10866	8079	5266	8144	8623	11969	14252	17690	23385	16114	14097	32573	23633	247163	

Таблица 2

Среднегодовое потребление пищи массовыми донными рыбами
Баренцева моря, тыс. т

Пищевые организмы	Виды хищников				
	Треска	Пикша	Черный палтус	Камбала-ерш	Звездчатый скат
	1984–2001	1990–1999	1996–2000	1994–2000	1994–2000
Эвфаузииды	283,95	73,60	0,54	13,64	1,20
Гиперииды	141,68	19,34	0,60		
Креветка	225,08	19,31	10,23	7,05	31,80
Сельдь	91,47	32,73	16,09	2,49	0,50
Мойва	1237,52	117,00	15,70	33,98	14,10
Сайка	75,50	0,00	3,59	24,71	3,20
Треска	148,46	5,25	5,66	27,52	16,4
Пикша	55,77	2,82	2,43	0,09	0,80
Морской окунь	91,05	1,95	1,26	0,39	3,50
Путассу	57,45	2,69	6,09		
Камбала-ерш	52,91	0,88	0,56	0,07	3,40
Черный палтус	0,81	0,01	0,23		
Тресочка Эсмарка	4,90	1,52			
Зубатки		0,39			
Головоногие			41,77		
Прочие рыбы	140,76	44,40	10,02	9,29	13,2
Прочая пища	479,97	415,01	38,23	121,06	77,6
Всего	3087,70	736,91	152,99	240,28	165,70

ежегодно потребляет 1,4–1,5 млн т, а малый полосатик – до 1,2 млн т рыбы (Bogstad B., Haug T. and Mehl S. *Who eats whom in the Barents Sea?* – NAMMCO SCIENTIFIC PUBLICATIONS, v. 2, Tromso, 2000. – P. 98–119). Объектами их питания являются мойва, сайка, сельдь, молодь трески и некоторые другие виды рыб. Расчеты рационов гренландского тюленя и малого полосатика, проведенные в ПИНРО, также свидетельствуют о значительном потреблении этими видами рыбных ресурсов. Вместе с тем следует признать, что имеющееся информационное обеспечение не позволяет получить достоверные расчеты состава рационов гренландского тюленя и малого полосатика в Баренцевом море. Для достижения необходимой точности оценок требуются широкомасштабные исследования, при условии кооперирования усилий различных институтов и международного сотрудничества. Примером такого сотрудничества может служить российско-норвежский проект по изучению распределения морских млекопитающих и пелагических рыб в Баренцевом море с использованием самолета-лаборатории АН-26 «Арктика». Проблема взаимозависимости рыбного промысла и морских млекопитающих должна решаться с позиций многовидового подхода к управлению эксплуатацией биоресурсами, при котором пищевые потребности млекопитающих будут служить составной частью рыбохозяйственных прогнозов.

Работы по созданию многовидовых моделей в ПИНРО на начальном этапе ограничивались адаптацией к условиям

Баренцева моря модели MSVPA, основанной на методе многовидового виртуально-популяционного анализа. В конце 80-х – начале 90-х годов была предпринята попытка использовать двухвидовые модели VPA для описания динамики численности трески и мойвы (Регулирование промысла трески и мойвы Баренцева моря с учетом их трофических связей/Третьяк В.Л., Коржев В.А., Ушаков Н.Г., Ярагина Н.А.// Тез. докл. Всесоюз. конфер. по рациональному использованию биологических ресурсов окраинных и внутренних морей СССР. – М., 1989. – С. 109–110), а также трески и креветки (Impact of cod on dynamics of biomass of *Pandalus borealis* in the Barents Sea/Berenboim B.I., Korzhev V.A., Tretyak V.L., Sheveleva G.K.//Interrelations between fish populations in the Barents Sea: Proceedings of the fifth PINRO-IMR Symp. – IMR, Bergen, Norway, 1992. – P. 169–180). Рассчитанные коэффициенты естественной смертности мойвы и креветки, обусловленные хищничеством трески, позволили конкретизировать особенности регулирования промысла этих видов с учетом их взаимозависимости с треской. Дальнейшее применение модели MSVPA сопровождалось ее совершенствованием и увеличением количества видов, включаемых в модель (Третьяк В.Л., Коржев В.А., Долгов А.В. Опыт применения метода MSVPA для моделирования промыслового сообщества в Баренцевом море// Биология и регулирование промысла донных рыб Баренцева моря и Северной Атлантики: Сб. науч. тр. ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1999. – С. 119–134). Со-

вместно с ВНИРО была разработана версия модели для трески, мойвы, сельди и креветки. В дальнейшем в нее включили пикшу и сайку (пикша выступает в качестве как жертвы трески, так и хищника). В 1998 г. в модель MSVPA были добавлены дополнительные внешние хищники – гренландский тюлень и кит малый полосатик.

С 1997 г. в ПИНРО проводится работа по созданию имитационной многовидовой модели для Баренцева моря, основывающейся на подходе, предложенном Андерсеном и Урсином для Северного моря (Andersen K., Ursin E. *A multispecies extension to the Beverton and Holt theory of fishing, with accounts of phosphorus circulation and primary production*//Medd. Dan. Fisk. Havunders. – 1977. – Vol. 7. – P. 319–435). Среди существующих зарубежных вариантов следует отметить норвежские модели MULTSPEC, AGGMULT, CAPSEX и SYSTMOD (Tjelmeland S., Bogstad B. *MULTSPEC – a review of a multispecies modelling project for the Barents Sea*// Fisheries research. – 1998. – Vol. 37. – P. 127–142; Hamre J., Hatlebakk E. *System model (Systmod) for the Norwegian Sea and the Barents Sea*//Models for multispecies management. – Heidelberg, New York: Physica-Verl., 1998. – P. 93–117) и исландскую – BORMICON (BORMICON. A boreal migration and consumption model. – Marine Research Institute, Reykjavik, Iceland, 1995. – 253 pp.). Центральным элементом разрабатываемой нами многовидовой модели Баренцева моря служит треска как наиболее изученный вид, имеющий определяющее значение не только для промысла, но и для функционирования биоценоза. Модель должна отображать внутривидовые и межвидовые взаимозависимости трески и предназначается для оптимизации управления многовидовым промыслом.

Разрабатываемая модель динамики запаса трески в Баренцевом море STOCOBAR (Stock of Cod in the Barents Sea) включает шесть блоков, каждый из которых может функционировать в качестве самостоятельной модели: питания и роста; миграций; полового созревания; естественной смертности; пополнения; промысла трески.

Модель питания и роста трески CONCOD – Consumption by Cod (Филин А.А., Гаврилик Т.Н. Модель CONCOD

для оценки питания и роста трески в Баренцевом море. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2001. – 32 с.) – предназначена для прогнозирования интенсивности питания, состава пищи и темпа роста трески в Баренцевом море; расчета показателей смертности вследствие хищничества трески для включенных в модель жертв; модельного анализа последствий откорма и роста трески при изменениях кормовой базы и состояния популяции. Концептуальная часть модели разработана на основе представлений об уровне питания, зависящем от состояния кормовой базы, а также о коэффициентах пищевой пригодности и доступности жертвы для хищника (Филин А.А., Руднева Г.Б. Прогностическая модель для оценки потребления пищи треской в Баренцевом море//Тез.докл. 7-й Всерос. конф. по проблемам промыслового прогнозирования. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1998. – С. 178–179). Программные средства обеспечивают работу в диалоговом режиме. Предусмотрена возможность быстрой модификации модели. Наиболее сложный ее вариант обеспечивает возможность расчетов питания и роста трески с учетом шести видов ее жертв: мойвы, креветки, сайки, сельди, а также молоди пикши и самой трески. Модель может быть легко редуцирована вплоть до наиболее простой модификации, представленной двухвидовым вариантом. Аналитические возможности модели позволяют оценить влияние на питание и рост трески следующих факторов: биомассы включенных в модель видов жертв; численности популяции; динамики возрастного состава; уровня промысловой эксплуатации трески и ее жертв; температуры воды.

В основу модели естественной смертности трески в возрасте три года и старше положена связь естественной смертности рыб со скоростью линейного роста и роста массы, темпом полового созревания и теоретическим предельным возрастом. Моделирование смертности осуществляется с учетом ее зависимости от возраста рыб. При разработке модели исходили из того, что с увеличением возраста трески роль экзогенной составляющей коэффициента естественной смертности постепенно ослабевает, а эндогенной – усиливается. Расчеты показали, что коэффициенты естественной смертно-

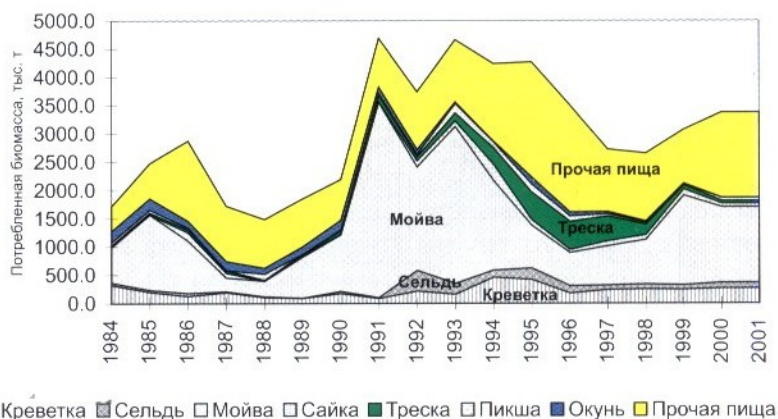


Рис. 1. Потребление треской промысловых видов жертв

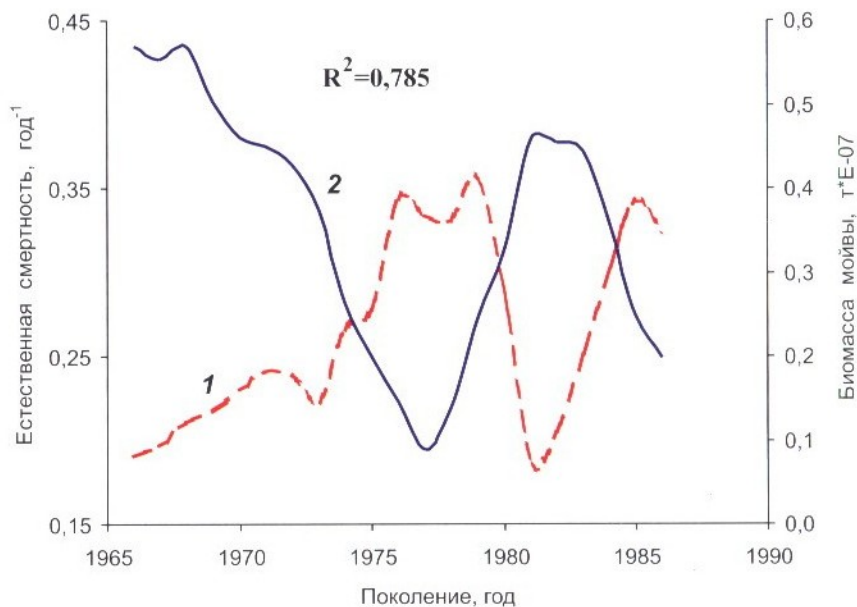


Рис. 2. Изменение среднего интегрального коэффициента общей естественной смертности трески (ц(7-12)) в возрасте 7–12 лет (1) и скользящей средней по шести точкам биомассы мойвы (2)

сти изменяются не только с увеличением возраста трески, но и от поколения к поколению, что обусловлено различиями в темпах роста и полового созревания рыб разных поколений. У поколений, появившихся после 1975 г., возникла значительная дифференциация естественной смертности на интервалах 3- t_s и t_s -16 лет, где t_s – возраст 50%-ного полового созревания. На втором интервале коэффициент естественной смертности – почти в 1,5 раза больше, чем на первом. Существующее представление о постоянстве коэффициентов естественной смертности взрослой трески (3–16 лет) приводит к неадекватному отображению изменений абсолютной и относительной численности и биомассы поколений, особенно в

старших возрастных группах. Выявленная тесная обратная связь между биомассой мойвы и эндогенной составляющей коэффициента естественной смертности трески в возрасте 7–12 лет (рис. 2) показывает, что смертность половозрелой трески в годы с низкой биомассой мойвы выше, чем в годы с высокой биомассой. Этот феномен еще раз доказывает исключительно важное значение мойвы в трофодинамической структуре экосистемы Баренцева моря.

Концептуальной основой модели пополнения популяции трески служит представление о том, что флюктуации численности поколений, вступающих в промысловый запас, определяются репродуктивным потенциалом популяции и смертностью потомства на ранних ста-

дях онтогенеза и этапе молодости. В качестве показателя репродуктивного потенциала принята популяционная плодовитость. Ее оценка осуществляется с учетом изменений по возрастам и годам промысла мгновенных коэффициентов естественной и промысловой смертности, средней массы в запасе, соотношения полов, доли половозрелых рыб и индивидуальной плодовитости. Она может включать информацию о резорбции ооцитов и жизнеспособности икры и личинок, полученных от рыб разного возраста. В основу модели положены представление о том, что этапы индивидуального развития являются одновременно и этапами формирования мощности годовых классов, уравнение Рикера, описывающее связь «запас – пополнение» (Ricker W.E. *Handbook of computations and Interpretation for biological statistics of fish population//Fish. Res. Board of Can. – 1958. – № 119. – 300 pp.*), а также метод преобразования индексов численности молодости трески в численность (Океанографические условия Баренцева моря и их влияние на выживание и развитие молодости северо-восточной арктической трески/Ожигин В.К., Третьяк В.Л., Ярагина Н.А., Ившин В.А. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1999. – 88 с.).

Модельный блок промысла в разрабатываемой нами модели STOCOBAR представлен моделью STRAFICOD (Strategy Fishing of Cod). Концептуальная часть модели основывается на классической теории динамики численности рыб (Beverton R.J., Holt S. *On the dynamics of exploited fish population//Fish. Inv. – 1957. – Ser. 2. – Vol. 19. – 533 pp.*), а также на концепции «осторожного подхода» к эксплуатации морских биоресурсов в интерпретации ИКЕС (Anon. *Report of the study group on the precautionary approach to fisheries management // ICES CM 1998/ACFM:10. – 41 pp.*). Влияние состояния кормовой базы на динамику запаса трески реализуется посредством моделирования темпа роста рыб.

В последнее десятилетие в странах с развитой рыбохозяйственной наукой многовидовое моделирование развивается быстрыми темпами и завоевывает широкое признание. Несомненно, что эти тенденции должны иметь место и в отечественной рыбохозяйственной науке.

Filin A.A., Tretyak V.L., Dolgov A.V.
Multispecies approach to the Barents Sea bioresources exploitation and management.

Nowadays, the implication of multispecies mathematical models for marine living resources assessment and fisheries control becomes more and more substantial. Such models can be used as a framework for generalizing the interrelationships between commercial species within a biocenosis. Underestimation of interactions between species influences significantly the results of fisheries activity.

The authors describe the following multispecies models elaborated by PINRO: an MSVPA model based on the method of virtual population analysis and adopted to the Barents Sea environmental conditions; a simulation multispecies model based on the approach by K.Andersen and E.Ursin (1977) that reflects cod intrapopulational and interspecies interactions and is intended for management optimization of fisheries in the Barents Sea; the STOCOBAR model for the Barents Sea cod stock dynamics. The later consists of several modules, each of which, in its turn, can function as an independent model, namely the CONCOD model for cod feeding and growth, the model for cod natural mortality at age 3 and older, the models of cod stock recruitment.



МИРОВОЕ
 РЫБНОЕ
 ХОЗЯЙСТВО

НОРВЕГИЯ



**В 2008 г.
 БУДЕТ ПРОИЗВЕДЕНО
 50 МЛН МАЛЬКОВ ТРЕСКИ**

Компания Cod Culture Norway (CCN), принадлежащая Nutresco и осуществляющая производство посадочного материала для выращивания трески, намерена произвести в нынешнем году 1 млн мальков, что составит 25 % от общего объема их производства в стране. По прогнозам CCN к 2008 г. в Норвегии будет произведено около 50 млн мальков, из которых половина придется на долю CCN.

Представители компании рассказали о задачах фермерского производства трески в CCN и Nutresco. По подсчетам Nutresco в нынешнем году в Норвегии фермерами будет произведено около 3 тыс. т трески. В следующем году этот показатель увеличится до 10 тыс. т, в 2006 г. – до 40 тыс., а к 2008 г. – до 80 тыс. т. Если все пойдет по плану, то к 2015 г. производство фермерской трески достигнет 400 тыс. т.

Internet, 20.01.2003

