

БИОЛОГИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ГИДРОБИОНТОВ

УДК 594.117 (268.45)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАПАСА ИСЛАНДСКОГО ГРЕБЕШКА  
*CHLAMYS ISLANDICA* В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ С ПОМОЩЬЮ  
ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

© 2015 г. С. В. Баканев, П. Н. Золотарев

*Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии,  
Мурманск, 183038  
E-mail: zolot@pinro.ru*

Поступила в редакцию 28.10.2014

Изучена динамика численности гребешка на промысловом скоплении в районе м. Святой Нос за период 1991–2012 гг. Установлено, что запас гребешка в это время резко снизился вследствие высокой прямой и косвенной промысловой смертности на фоне низкого пополнения. Моделирование динамики запаса гребешка с использованием байесовского подхода показало, что продуктивность скопления в настоящее время весьма низкая, вследствие чего запас не может восстановиться до первоначального уровня в ближайшие 10–20 лет даже при отсутствии промысла.

*Ключевые слова:* исландский гребешок, Баренцево море, динамика численности, моделирование, метод Байеса.

**ВВЕДЕНИЕ**

Промысел исландского гребешка в водах Северной Атлантики начал активно развиваться в 70–80-х гг. прошлого столетия. Эксплуатация скоплений в водах Исландии, Норвегии, Гренландии и России состояла, как правило, из следующих этапов: обнаружение промыслового скопления, интенсивная эксплуатация в течение нескольких лет до стадии экономического перелома, переход к поиску новых скоплений.

Одновременно с промышленной эксплуатацией скоплений ученые приступили к изучению запасов гребешка с целью выработки рекомендаций по управлению промыслом. Однако предложенные меры регулирования не создали условий для рационального промысла и восстановления сокращающейся численности популяций. С конца прошлого века на большинстве промысловых скоплений исландского гребешка Северной Атлантики наблюдались все признаки перелома (Aschan, 1988; Pedersen, 1988; Sundet,

Zolotarev, 2012), и объем вылова резко уменьшился до минимального (Fisheries ..., 1985–2012).

По результатам российских исследований промысловых запасов гребешка в Баренцевом и Белом морях, выполненных в 1987–2012 гг., выявлено снижение запаса практически на всех скоплениях, подвергнутых промысловой эксплуатации. Предполагается, что уязвимость скоплений исландского гребешка для промысла обусловлена его биологическими особенностями — низким темпом роста, большой продолжительностью жизни и недостаточным пополнением запаса в большинстве поселений в последние годы (Золотарев, 2012).

Однако, несмотря на многолетнюю историю исследований промысловых ресурсов гребешка в российских водах, многие вопросы его биологии, важные для промысла, остаются малоизученными. Так, параметры системы «запас — промысел» до настоящего времени не оценивались, а анализ продуктивности скоплений с позиций их рацио-

нальной эксплуатации проводился в период, предшествующий активному промыслу (Денисенко, 1989).

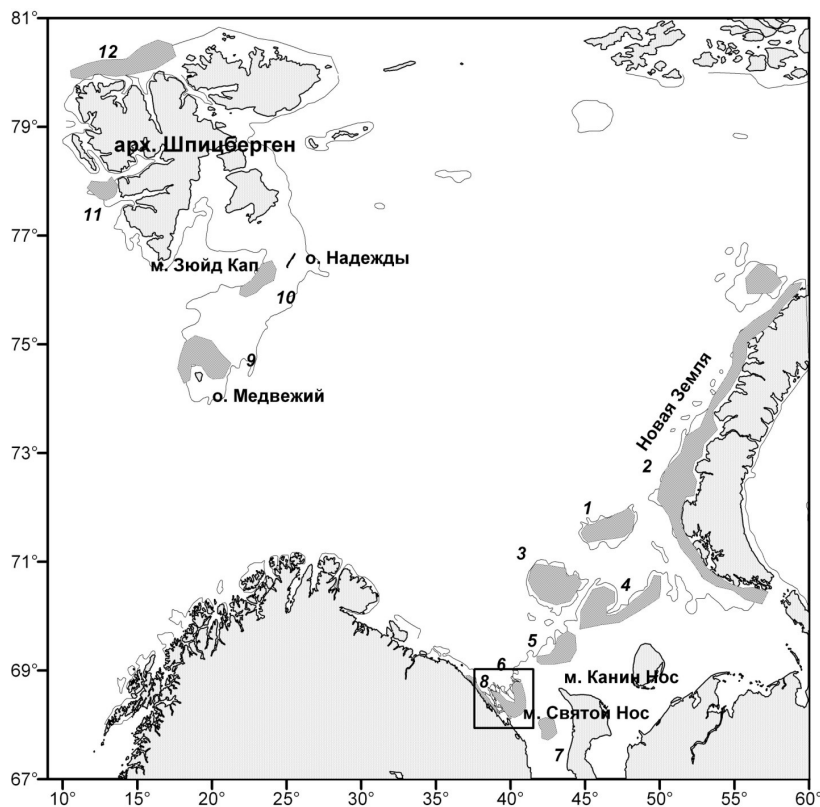
Цель настоящей работы — ретроспективный анализ данных, полученных в ходе инструментальных съемок гребешка в Баренцевом и Белом морях, изучение целесообразности использования аналитических моделей для оценки запасов моллюска, расчета и прогнозирования общего допустимого улова (ОДУ).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Основой для анализа динамики численности исландского гребешка послужили данные учетных съемок, выполненных в пе-

риод 1987—2012 гг. на скоплениях в Баренцевом и Белом морях (рис. 1). За весь период исследований были учтены данные около 7,4 тыс. уловов (табл. 1). Наиболее изученным было скопление, располагающееся в южной части Баренцева моря вблизи мыса Святой Нос (Святоносское поселение), которое обследовалось практически ежегодно. На нем было выполнено более 4,8 тыс. анализов, или около 65% всего объема исследований.

Учетными орудиями лова на съемках служили промысловые драги или трал Сигсби. Первоначально масса улова полных промысловых драг была определена по динамометру. При этом масса улова в драге шириной 2,3 м составляла 2000 кг, для драг



**Рис. 1.** Местоположение основных скоплений гребешка в Баренцевом и Белом морях и в районе архипелага Шпицберген (□): 1 — на Гусиной банке, 2 — у архипелага Новая Земля, 3 — на Северо-Канинской банке, 4 — на Канино-Колгуевском мелководье, 5 — на Канинской банке, 6 — Святоносское поселение (выделено прямоугольником), 7 — в Воронке Белого моря, 8 — в прибрежье Кольского полуострова, 9 — у о-ва Медвежий, 10 — у о-ва Надежды, 11 — западное поселение, 12 — северное поселение; (—) — изобата 100 м.

**Таблица 1.** Число станций, выполненных при проведении учетных съемок на скоплениях гребешка в экспедициях ПИНРО в Баренцевом и Белом морях в 1987–2012 гг.

Год	Скопления								
	Гусиная банка	Северо-Калининская банка	Канинская банка	Канино-Колгуевское мелководье	Новая Земля	Воронка Белого моря	Прибрежье Кольского п-ова	Святоносское поселение	Архипелаг Шпицберген
1987	30	23	-	55	52	20	64	173	150
1988	-	1	-	-	8	-	37	38	-
1989	19	58	2	2	-	39	16	79	-
1990	-	4	-	-	-	-	35	852	-
1991	-	-	5	-	-	1	18	166	-
1992	-	-	20	-	-	-	50	319	-
1993	-	-	150	-	-	-	-	64	175
1994	-	-	15	-	-	1	16	69	-
1995	-	-	40	-	25	3	-	130	-
1996	16	-	1	80	8	35	4	79	-
1997	-	-	-	-	-	9	15	314	-
1998	-	-	28	-	-	5	-	244	-
1999	2	12	6	6	39	18	2	163	-
2000	1	88	3	-	-	2	43	282	-
2001	-	220	94	6	-	13	-	310	-
2002	-	-	87	-	-	-	-	282	-
2003	1	3	7	5	-	31	8	441	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	58	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	171	-
2007	-	-	-	-	-	47	-	46	-
2008	-	-	-	-	-	46	-	46	-
2009	14	25	17	41	-	33	13	49	-
2010	-	-	-	-	-	119	67	128	-
2011	-	-	6	-	-	31	39	155	-
2012	-	-	-	-	-	33	41	147	-
Итого	83	434	475	195	132	486	468	4805	325

шириной 3–5 м – 3000 т. В дальнейшем массу улова определяли визуально по степени наполнения мешка драги и массе улова в полной драге. Для определения состава улова отбирали пробу массой 20–30 кг, разбира-

ли ее и определяли массу живого гребешка, прилова бентоса и грунта (ракуши и камней). Полученное соотношение состава улова в пробе использовали для определения массы отдельных компонентов и общей численно-

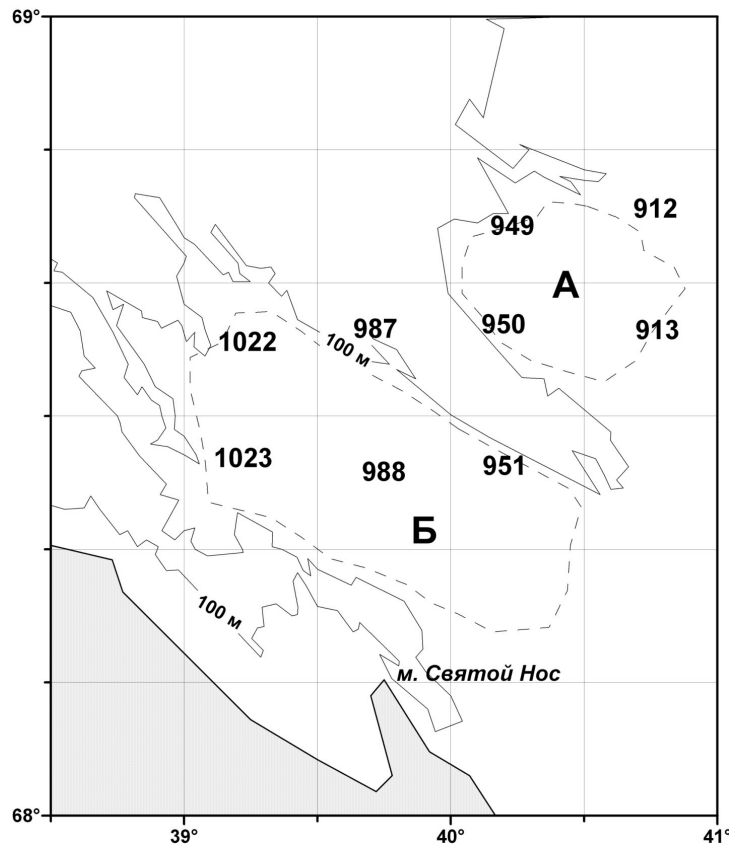
сти гребешка во всем улове. Массу улова в трале Сигсби определяли путем взвешивания всего улова или его части.

Всех гребешков, попавших в пробу, подсчитывали для определения численности и измеряли высоту их раковины с помощью штангенциркуля с точностью до 1 мм. Среднюю плотность поселений гребешка на станции рассчитывали путем деления общей численности гребешка в улове на площадь драгирования и коэффициент уловистости всех типов драг, принятый на уровне 0,2.

При расчетах индекса численности общего запаса гребешка на скоплении использовали деление акватории Баренцева и Белого морей на промысловые квадраты (прямоугольники шириной 10' по широте и 30' — по долготе). Численность гребешка в промысловом квадрате рассчитывали как произведение средней плотности на вели-

чину обследованной площади скопления в квадрате, численность гребешка определенной размерной группы — умножением общей численности на ее долю в общей численности. Общую численность гребешка на скоплении определяли суммированием данных по квадратам.

Для исследований динамики численности скоплений был выбран район Святоносского поселения, в котором съемки проводились ежегодно (рис. 2). Анализ имеющихся материалов показал, что относительно полное обследование поселения в течение нескольких лет подряд было выполнено в 1991—2003 гг. В качестве исследовательских полигонов для изучения динамики численности гребешка был выбран северо-восточный участок Святоносского поселения (промысловые квадраты 912, 913, 949 и 950), в которых в 1997—2003 гг. иссле-



**Рис. 2.** Границы участков Святоносского поселения гребешка (---) и нумерация промысловых квадратов в северо-восточном (А) и юго-западном (Б) участках.

дованиями были охвачены свыше 70% акватории.

При оценке динамики численности и ориентиров управления использовалась стандартная логистическая кривая, обычно называемая «продукционной моделью Шефера» (Schaefer, Milner, 1954). Дискретный вид модели, включающий промысловую смертность, где скорость экспоненциального роста численности популяции ( $r$ ) выражает максимальный устойчивый вылов ( $MSY$ ) и имеет вид:

$$B_{t+1} = B_t - C_t + 4MSY \frac{B_t}{K} \left(1 - \frac{B_t}{K}\right), \quad (1)$$

где  $B_t$  — численность в году  $t$ ,  $MSY$  — максимальный устойчивый вылов,  $K$  — максимальная возможная численность при отсутствии промысла (емкость среды),  $C_t$  — вылов (Richards, 1959; Pella, Tomplinson, 1969).

Ненаблюдаемая переменная  $B_t$  может быть выражена через наблюдаемый показатель относительной численности ( $surv_t$ ), то есть через индекс, рассчитанный по результатам исследовательской съемки. Отношение индекса к реальной величине биомассы выражается через коэффициент улавливаемости:

$$surv_t \sim q_s B_t e^k, \quad (2)$$

где  $q_s$  — коэффициент улавливаемости,  $e^k$  — ошибка измерения индекса численности, имеющая нормальное распределение.

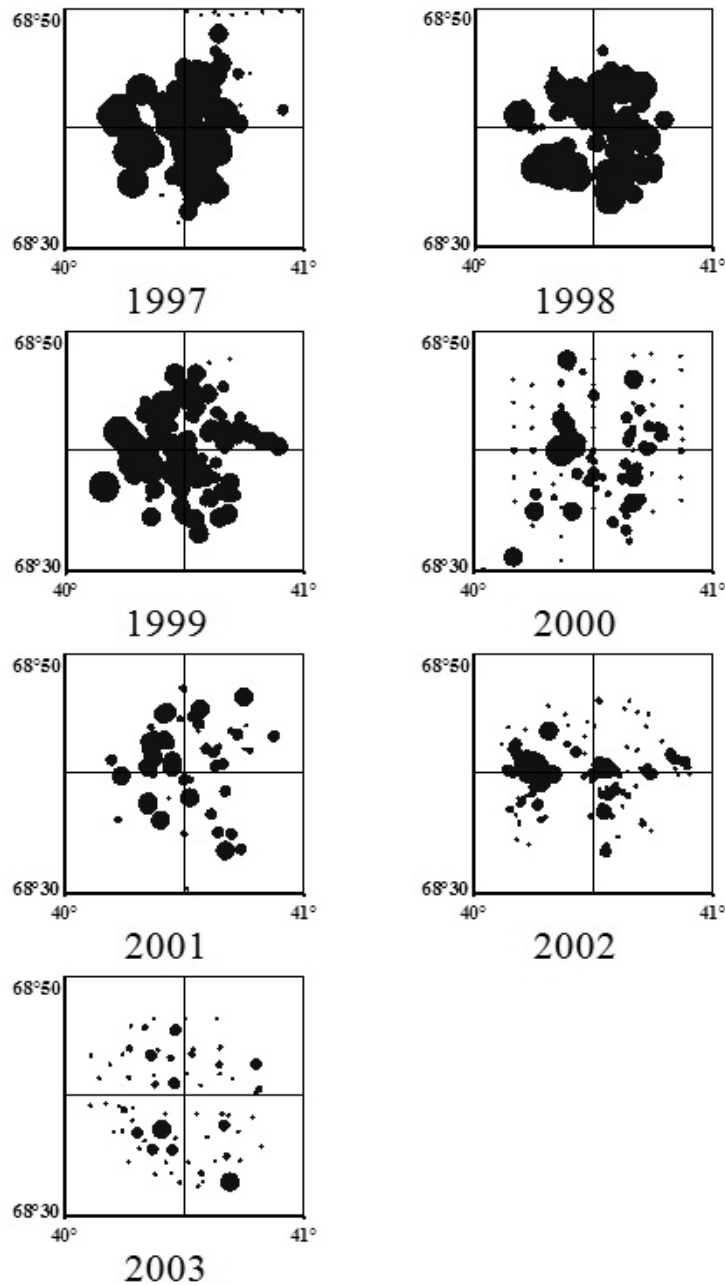
Оценка параметров модели осуществлялась с использованием байесовского подхода (Bayes, 1958), применяемого для получения распределения апостериорных вероятностей возможных значений параметров модели. Алгоритмы вычисления и диагностика были реализованы в программном продукте OpenBUGS v.3.2.1, разработанном в Великобритании (Gilks et al., 1992; Spiegelhalter et al., 2000; www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs). Требовалось определить априорные вероятности распределений следующих параметров: численности гребешка для первого года исследований по размерно-воз-

растным группам  $B_{1996}$ ,  $K$ ,  $m$ ,  $MSY$ ,  $q_s$ ,  $q_b$  и ошибок наблюдений. Идентификация, верификация и исследование модели выполнялись по методикам, описанным в руководстве к программному обеспечению OpenBUGS v.3.2.1, а также в работах Вингеля, Кингсли (Hvingel, Kingsley, 2006) и Баканева (Bakanev, 2006).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Динамика запаса гребешка.* Изменчивость уловов на северо-восточном участке Святоносского поселения во время проведения учетных съемок в 1997–2003 гг. была весьма значительной. Средняя плотность скоплений гребешка в 1997 г. варьировала в пределах 5,5–8,5 экз/м<sup>2</sup>, но к 2003 г. она значительно снизилась во всех промысловых квадратах и не превышала 1 экз/м<sup>2</sup> (рис. 3). Темпы ежегодного снижения средней плотности в каждом промысловом квадрате оказались схожими: в 1998–2000 гг. эта величина составила порядка 30%, а в 2001–2003 гг. численность в среднем ежегодно уменьшалась на 40%. Таким образом, с 1997 по 2003 гг. относительная промысловая численность гребешка на исследованной акватории снизилась на порядок. Основной причиной снижения численности популяции, подвергающейся активному промысловому воздействию, как правило, является высокая прямая и косвенная промысловая смертность на фоне низкого пополнения (Рикер, 1979). Для оценки влияния промысла на запас рассмотрим динамику вылова в разных промысловых квадратах в 1996–2003 гг. (рис. 4). Вылов гребешка на северо-восточном участке Святоносского поселения варьировал в 1996–2000 гг. от 5 до 20 млн экз. С 2001–2002 гг. наблюдается снижение вылова до 0,8 млн экз., а с 2003 г. промысел не проводился вовсе. Однако снижение величины промыслового запаса наблюдалось и после прекращения промысла.

Межгодовые изменения в вылове не оказывали решающего значения на темп снижения численности запаса. В среднем ежегод-



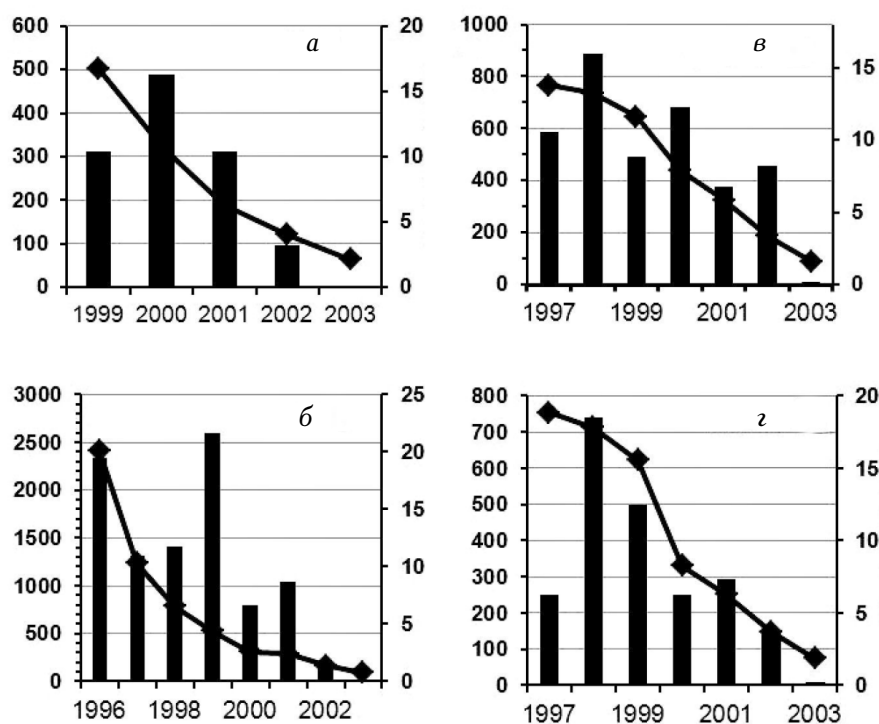
УЛОВЫ, ЭКЗ./М<sup>2</sup>:  $\cdot$  <math>< 1</math>;  $\bullet$  <math>- 1-2</math>;  $\bullet$  <math>- 3-5</math>;  $\bullet$  <math>- 6-10</math>;  $\bullet$  <math>> 10</math>

**Рис. 3.** Распределение уловов исландского гребешка на северо-восточном участке Святоносского поселения по данным съемок 1997–2003 гг., экз./м<sup>2</sup>.

ный вылов на участке составлял 10 млн экз., тогда как ежегодное снижение численности оценивается на уровне 110 млн экз. То есть убыль численности запаса в конкретном году значительно превышала вылов, вследствие чего объем вылова не может быть рассмотрен в качестве основного фактора, определяющего

динамику численности. Косвенная промысловая смертность, по данным некоторых авторов (Gruffid, 1972; Ragnarsson et al., 2007), также весьма высока и может значительно превышать промысловую смертность.

Рассмотрим теперь величину пополнения промыслового запаса, существенно



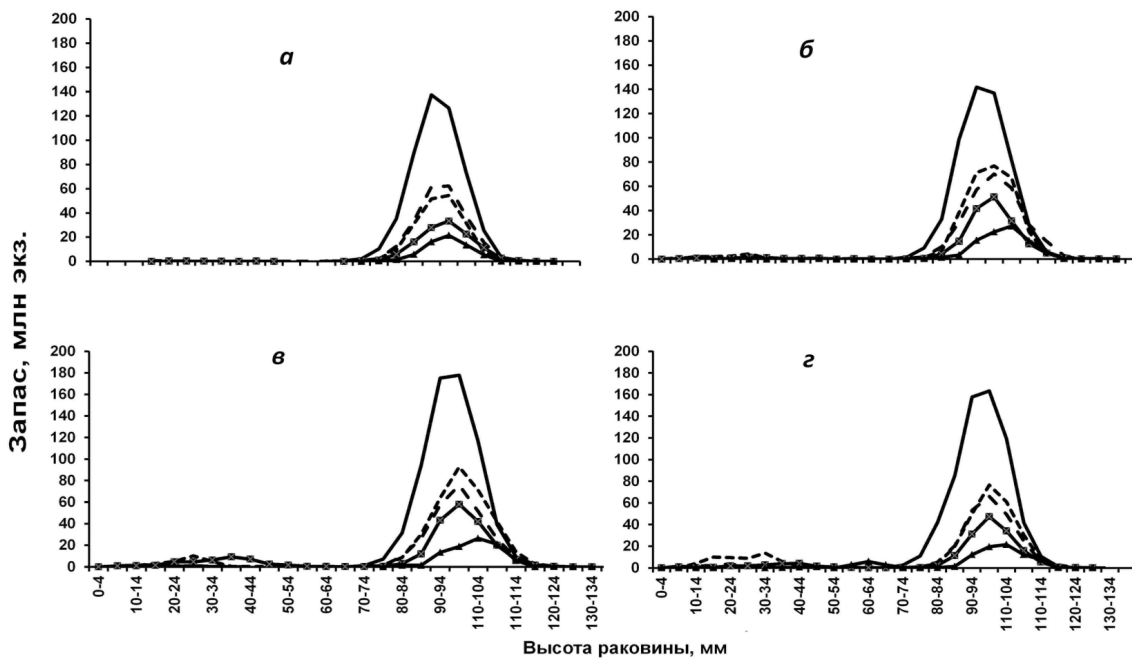
**Рис. 4.** Динамика индексов численности (■) (по оси ординат слева, млн экз.) и вылова (—◆—) (по оси ординат справа, млн экз.) исландского гребешка в промысловых квадратах 912 (а), 913 (б), 949 (в), 950 (г) в 1996–2003 гг.

влияющую на динамику его численности. Анализ показал, что при снижении численности гребешка на Святоносском поселении в 1996–2003 гг. происходили изменения и в размерном составе особей (рис. 5).

Как видно, графики размерного состава в рассматриваемый период были одномодальными, и моды одинаковы во всех промысловых квадратах. В 1996–1997 гг. в уловах преобладали моллюски с высотой раковины 85–90 мм, в 1999-м у гребешков из квадратов 913, 949, 950 высота раковины составляла 90–95 мм, а в квадрате 912–95–100 мм. В 2003 г. во всех квадратах наблюдался пик в размерном составе гребешка в области 100 мм. Средний размер гребешка в четырех квадратах в 1997–2003 гг. увеличился с 93 до 99 мм. Такая динамика соответствует групповому росту одного высокоурожайного поколения гребешка и его последовательному распределению в размерном составе скопления с учетом ежегодного

прироста особи. Кроме того, на рис. 5 хорошо видно отсутствие существенного пополнения промыслового запаса моллюсками с высотой раковины 70–80 мм за весь период исследований. Незначительное количество молодого гребешка размером 25–70 мм было отмечено во все годы наблюдений, однако их численность была несравнимо мала для того, чтобы восполнить убыль промыслового запаса.

Влияние естественной смертности на динамику численности при отсутствии пополнения также весьма существенно. Допустим, что пополнение и промысел в промысловом квадрате 912 в 1999–2003 гг. отсутствовали. По литературным данным, величина коэффициента естественной смертности для зрелых поселений варьирует в пределах 0,1–0,4 (Денисенко, 1989). Исходя из такого уровня смертности и численности гребешка в 1999 г., равной 500 млн экз., число выживших особей к 2003-му г. будет составлять 70–300 млн экз. То есть при отсутствии



**Рис. 5.** Изменения численности гребешка (по размерным классам) в промысловых квадратах (а — 912, б — 913, в — 949, г — 950) на северо-восточном участке Святоносского поселения в 1999 (—), 2000 (---), 2001 (----), 2002 (—■—), 2003 (—▲—) гг.

пополнения в течение 5–6 лет запас может снизиться более чем в два раза.

Таким образом, при анализе динамики численности исландского гребешка на Святоносском поселении за период 1996–2003 гг. установлено отсутствие существенного пополнения промысловой численности, значительное снижение промыслового запаса и отсутствие прямой связи величины вылова со снижением численности. Основными факторами, влияющими на динамику численности, по всей видимости, являются естественная смертность, а также промысловая и косвенная промысловая смертность при отсутствии достаточного пополнения промыслового запаса.

*Моделирование.* Для моделирования динамики численности мы использовали данные вылова, производительности промысла и индекса запаса (табл. 2). Анализ производительности промысла показал, что данная величина зависела не только от состояния запаса

гребешка на поселении, но и от особенностей его распределения на акватории. В отдельные годы производительность промысла увеличивалась за счет перехода на новые скопления, до этого не эксплуатировавшиеся, в то время как общая биомасса поселения по результатам съемки снижалась. Такие показатели производительности в модель не включались, так как не подтверждали допущение о том, что производительность промысла коррелирует с величиной запаса. Также в модель не включались индексы биомассы, рассчитанные по съемкам, в которых значительная часть акватории не была охвачена исследованиями в силу различных причин.

Согласно уравнениям (1–2), рассмотренным в разделе «Материал и методика», для построения модели требуется оценить следующие параметры: коэффициент улавливаемости для индекса биомассы ( $q_{ind}$ ) и улова на усилие ( $q_{срue}$ ), максимальную возможную численность популяции при отсутствии про-



**Таблица 2.** Вылов, производительность промысла, индекс запаса, средняя плотность поселения, уровень эксплуатации и общий допустимый улов (ОДУ) исландского гребешка на Святоносском поселении в 1990–2012 гг.

Год	Вылов, т	Производительность промысла, т/сут. лова	Усилия, сут.	Индекс запаса, тыс. т	Средняя плотность, г/м <sup>2</sup>	Уровень эксплуатации, %	ОДУ, т
1990	2654	35	79	-	-	-	3100
1991	4700	-	-	2454	1337	0,19	4700
1992	6100	-	-	2595	1414	0,24	6100
1993	4099	-	-	2661	1450	0,15	3900
1994	3520	28	135	-	-	-	6400
1995	7336	26	298	-	-	-	7700
1996	8600	31	279	2514	1370	0,34	10400
1997	9683	31	343	1097	598	0,88	13600
1998	11473	31	386	1156	716	0,87	11000
1999	10805	27	399	859	468	1,26	12150
2000	11123	22	476	615	335	1,81	12500
2001	10659	20	538	386	210	2,76	13600
2002	5488	11	495	232	127	2,37	13800
2003	3723	11	275	288	157	1,29	9600
2004	1156	19	61	-	-	-	4300
2005	3100	20	156	-	-	-	4300
2006	874	25	35	366	200	0,24	900
2007	2666	16	160	326	178	0,82	4100
2008	400	10	40	-	-	-	3400
2009	Промысел не проводился			56	30	-	100
2010	Промысел не проводился			89	40	-	100
2011	533	20,2	26	240	120	0,02	1100
2012	374	10,7	35	319	160	0,01	1100

**Примечание:** « - » — нет данных.

мысла ( $K$ , емкость среды), максимальную прибавочную продукцию или максимальный устойчивый вылов ( $MSY$ ), величину начальной численности ( $B_1$ ), а также величины стандартных отклонений ошибок индекса биомассы и улова на усилие.

В настоящее время достоверные данные о величине коэффициентов улавливаемости для драговой съемки исландского

гребешка в Баренцевом море отсутствуют. Также нет достоверных сведений о величине абсолютной численности промыслового запаса на Святоносском поселении и коэффициентах, масштабирующих эту численность к индексам, рассчитанным по драговым съемкам и уловам на усилие.

Когда заранее ничего не известно о параметре, одним из вариантов решения

проблемы может стать выбор равномерного распределения в качестве априорного (когда все возможные исходы случайной величины имеют равные вероятности). В данном случае распределение коэффициента улавливаемости будет ограничено лишь его физической сущностью, то есть равновероятно находиться в области значений от 0 до 1. Кроме того, учитывая то, что на коэффициент улавливаемости влияет коэффициент уловистости орудия лова (по сути, является его составляющей), мы приняли во внимание его величину, определенную опытным путем с помощью подводной видеоаппаратуры (Золотарев, 2012). Коэффициент уловистости драги был оценен на уровне 0,2, однако точность этой величины определена не была.

Один из важных параметров при описании процессов логистическими продукционными моделями — это емкость среды  $K$  (Graham, 1935; Schaefer, Milner, 1957; Fox, 1970; Ricker, 1975; Ludwig, Hilborn, 1983). Для Святоносского поселения, находящегося в настоящее время в угнетенном состоянии, емкость среды можно оценить на основании плотности распределения животных до периода активной промысловой эксплуатации. Анализу распределения гребешка в этом районе были посвящены работы Денисенко (1989) и Золотарева (2012). Основываясь на различных оценках распределения гребешка в этом районе, промысловая биомасса в 1980–1990-х гг. могла достигать от 1,0 до 2,7 млн т. С учетом этого априорная емкость среды была оценена в широком диапазоне значений. В первую очередь применялось однородное распределение (McAllister, Kirkwood, 1998), для которого задавались максимально большие границы. Такое распределение обычно используется в том случае, когда необходимо снизить степень влияния априорных оценок параметров и усилить влияние эмпирических данных на результаты расчетов.

Нижняя граница распределения была выбрана с учетом максимально оцененного изъятия промыслом и оценки индексов съёмки, а также на основе самой пессими-

стической оценки продукционной способности запаса при минимальных значениях плотности популяции. Варианты верхней границы априорного распределения  $K$  были выбраны произвольно и имели достаточно высокие значения. Апостериорные распределения любого параметра всегда находятся в границах своих априорных распределений. Выбор максимальных значений априорного диапазона позволяет значительно снизить влияние этого распределения на поиск апостериорного распределения, которое в данном случае будет основываться на эмпирических данных. Если эмпирические данные содержат биологически правдоподобную информацию на протяжении ряда лет, то искомое распределение параметра также будет иметь биологический смысл. В наших расчетах допускается, что априорное распределение  $K$  с верхним пределом максимальной биомасса свыше 5–6 млн т, видимо, не влияет на апостериорное распределение этого параметра. С этих позиций было выбрано два типа распределений в логарифмическом масштабе между  $\ln(100 \text{ тыс. т})$  и  $\ln(6 \text{ млн экз.})$  и однородное распределение между 1–5 млн особей.

Максимальный устойчивый вылов ( $MSY$ ) согласно уравнению (2) определяется в основном емкостью среды  $K$ . Исходя из этого распределение плотности вероятностей возможных значений  $MSY$  выбиралось с учетом распределения параметра  $K$ . В зависимости от его величины однородное распределение  $MSY$  задавали в границах от 0,1 до 10, 50, 100 тыс. т. Нижняя граница определялась с учетом наиболее пессимистической оценки продуктивности запаса. Верхняя граница задавалась высокой, чтобы биологически правдоподобное апостериорное распределение параметра целиком вошло в априорное.

Достоверность информации о состоянии запаса перед промыслом обычно ниже после начала и ежегодного сбора промысловой статистики и биологических данных (Doubleday, 1981; Seber, 1982; Ludwig, Hilborn, 1983; Helser, Hayes, 1995). Как

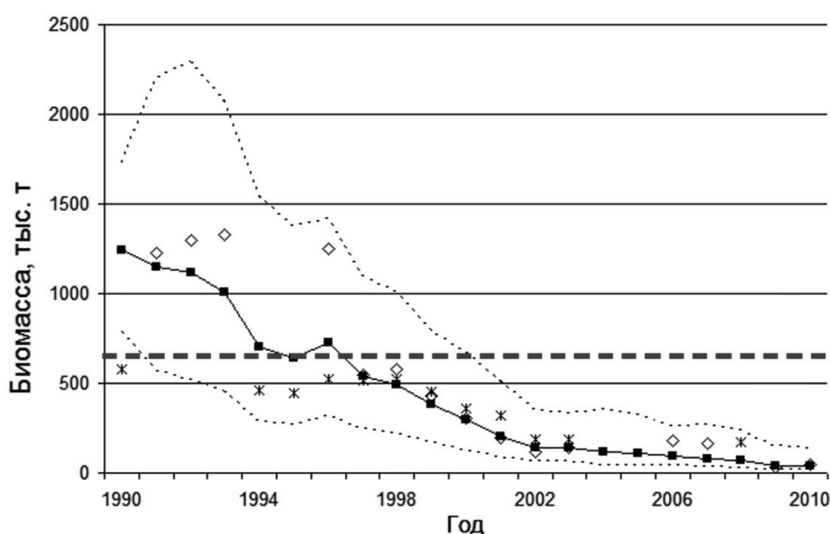
правило, допускается, что  $B_1 \approx K$ , то есть запас имеет максимальную величину и в это время промысел существенно не влияет на динамику запаса. Тем не менее, начальная величина  $B_1$  незначительно влияет на результаты расчетов модельных индексов последних лет наблюдений при условии, что ряд наблюдений достаточно большой. Нами были опробованы несколько вариантов расчетов с различными начальными априорными распределениями  $B_1$ , но результаты апостериорных параметров получились сходными.

При прогонках моделей их апостериорные распределения вероятностей имели достаточно сходные значения мод и медиан и удовлетворительно описывали индексы численности, полученные при натурной съемке и в ходе промысла (рис. 6). Параметры апостериорных распределений и результаты расчетов, которые наиболее адекватно описывают исходные данные, представлены в табл. 3.

В течение 1990–1995 гг. происходило активное промысловое освоение Святоносского поселения, и биомасса гребешка ( $B_t$ ) снизилась в два раза: с 1200 до

643 тыс. т. В 1995 г. биомасса оказалась ниже  $B_{MSY}$  (450 тыс. т) и в последующем не превышала этот уровень. В 1996–2001 гг., когда наблюдался максимальный ежегодный вылов (9–10 тыс. т), биомасса снизилась до 230 тыс. т. С 2002 г. наблюдалось постепенное снижение промысловых усилий, производительности и, как следствие, вылова. Биомасса гребешка в 2003–2010 гг. также уменьшалась, однако темпы снижения значительно замедлились. В 2008 г. она упала до уровня, при котором эксплуатация запаса стала нерентабельной, и в 2009–2010 гг. был рекомендован запрет промысла на скоплениях. В 2011 г. промысел возобновился в небольшом объеме.

Результаты расчетов показывают, что поселение гребешка подверглось сильнейшему промысловому прессу с 1990 г. Оцененные продукционные способности не позволяют дать оптимистичных прогнозов на последующие годы. Согласно модели, начальный промысловый пресс «следовало снизить» минимум до уровня  $MSY$  (1,35 тыс. т) для того, чтобы прибавочная продукция превысила общую смертность.



**Рис. 6.** Динамика биомассы исландского гребешка Святоносского поселения в 1990–2010 гг., рассчитанная по продукционной модели (-■-) с учетом 95%-ного уровня доверительного интервала  $B_{MSY}$  (---), а также индексы биомассы, рассчитанные по данным съемок (◇) и показатели улова на усилие (т/сут. лова) с учетом коэффициентов улавливаемости (\*).

**Таблица 3.** Средняя, стандартное отклонение ( $SD$ ) и медиана вероятностных распределений основных параметров модели

Параметр	Средняя	$SD$	Медиана
$MSY$	2489	2467	1,348
$B_{MSY}$	799,8	449,9	686,7
$F_{MSY}$	0,004	0,004	0,001
$K$	1600,0	899,8	1373,0
$q_{ind}$	2,25	0,96	2,01
$q_{срне}$	0,07	0,03	0,06
$B_{1990}$	1247	231	1242
$B_{1991}$	1207	423	1146
$B_{1992}$	1187	461	1117
$B_{1993}$	1073	418	1009
$B_{1994}$	758	323	705
$B_{1995}$	689	290	643
$B_{1996}$	765	282	729
$B_{1997}$	574	217	541
$B_{1998}$	520	200	490
$B_{1999}$	405	158	381
$B_{2000}$	322	139	296
$B_{2001}$	230	107	206
$B_{2002}$	159	76	143
$B_{2003}$	152	70	138
$B_{2004}$	139	83	120
$B_{2005}$	125	78	107
$B_{2006}$	107	58	93
$B_{2007}$	98	65	81
$B_{2008}$	85	56	69
$B_{2009}$	48	36	38
$B_{2010}$	46	34	37

Таким образом, полученные оценки модельной численности в целом отражают динамику индексов численности, определенных по результатам съемок. Доверительные интервалы сравнительно шире в годы максимальной численности популяции (1990–2000). За весь период наблюдений промысловая часть популяции значительно снизила свою численность. В 2002–2012 гг. она сохранялась на стабильно низком уровне.

Анализ исходных данных и модельных расчетов показал, что продуктивность Святоносского поселения исландского гребешка весьма незначительна. При  $B_{MSY}$ , равной 686,7 тыс. т, максимальная устойчивая продукция ( $MSY$ ) составляет 1,3 тыс. т, т.е. 0,2% общей биомассы. Коэффициент  $F_{MSY}$  оценен на уровне 0,004, что также характеризует низкую продуктивную способность запаса. Причина низкой продуктивно-

сти заключается в отсутствии пополнения, способного компенсировать значительную убыль запаса. Моделирование динамики численности в 2011–2030 гг. при отсутствии промысла показало, что запас восстанавливается крайне медленно и не достигает величины  $BMSY$  в указанный период.

### ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время на Святоносском поселении гребешка происходят два природных явления, достоверность которых подкреплена расчетами, исходными данными и экспертной оценкой: отсутствие пополнения и одновременное значительное уменьшение биомассы запаса за весь период исследований. Несомненно, что главной причиной снижения биомассы является увеличение общей смертности и отсутствие высокоурожайных поколений, не компенсирующих эту смертность. Вопрос о том, какую роль играет в этом снижении промысловая и косвенная промысловая смертность, пока остается дискуссионным. Несмотря на малую долю ежегодного изъятия, необходимо учитывать, что промысел проводился в течение длительного периода и общий объем изъятия гребешка на скоплении за 1996–2010 гг. превысил 100 тыс. т, или около 15% первоначального запаса (Золотарев, 2012). Воздействие драгового промысла, возможно, влечет за собой как снижение численности взрослых особей, так и уменьшение пополнения. Это может происходить как из-за прямого воздействия драги на грунт и повреждения животных, так и опосредованно — за счет повышения эвтрофикации вод, изменения состава донного сообщества, увеличения обычного уровня заболеваемости моллюсков (Золотарев, Карасева, 2006) и численности хищников (например, морских звезд) (Zolotarev, 2002).

Тем не менее, несмотря на высокую неопределенность, данный вариант модели, комбинируя пластичность байесовского подхода с традиционным продукционным подходом (Бабаян, 2000), обеспечивает аналитическую альтернативу существующим

эмпирическим методам оценки численности исландского гребешка. Комплексный подход учитывает ошибки наблюдений и позволяет связывать уравнение динамики популяции с наблюдаемыми индексами численности, определенными по результатам съемок. Благодаря этому в модель можно интегрировать различные дополнительные параметры в отдельные годы наблюдения: атипичные флуктуации пополнения, если таковые будут, или временные изменения в практике выбросов в отдельные годы. Байесовский метод может включать дополнительные знания в модель в виде априорных распределений различных параметров, тем самым восполняя недостающие входные величины, что часто встречается в промысловой биостатистике.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ исходных данных и модельных расчетов показал, что аналитическая оценка динамики запаса исландского гребешка на Святоносском поселении может быть выполнена с учетом существенных допущений. Моделирование динамики запаса не позволяет дать оценку устойчивой продукции для управленческих целей по ряду причин, которые в настоящее время могут быть установлены на уровне предположений. Первое предположение — отсутствие пополнения, которое бы могло компенсировать убыль запаса. Второе предположение — наличие существенной общей смертности, которая на порядок выше оцененной промысловой. Значительная общая смертность может быть связана с суммированием прямой промысловой и косвенной промысловой смертности как посредством прямого воздействия драгового промысла на запас, так и опосредованно — ухудшением общей санитарной обстановки на акватории поселения. Воздействие драгового промысла влечет за собой снижение численности взрослых особей и уменьшение пополнения, а также увеличение убыли запаса от заболеваний и хищников.

Анализ истории промысловой эксплуатации исландского гребешка в Северной

Атлантике, в том числе и на Святоносском поселении, показал, что управление запасами моллюска только на основе определения ОДУ неэффективно. Стратегия управления запасами этого вида не должна строиться на традиционных принципах управления, разработанных для запасов рыб и активно мигрирующих беспозвоночных. По всей видимости, в расчет необходимо принимать такие стратегии управления, как разделение промыслового поселения на акватории с различной интенсивностью промысла; выделение акваторий, полностью закрытых для промысла; возможность искусственного пополнения запаса и др.

В настоящее время Святоносское поселение исландского гребешка находится в угнетенном состоянии, при котором нет оснований предполагать, что запас может самостоятельно восстановиться до первоначального уровня в ближайшие 10–20 лет даже при полном отсутствии промысла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабаян В.К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению. М.: Изд-во ВНИРО, 2000. 192 с.

Денисенко С.Г. Экология и ресурсы исландского гребешка в Баренцевом море. Апатиты: Изд-во КолНЦ, 1989. 140 с.

Золотарев П.Н. Состояние запасов и промысел исландского гребешка (*Chlamys islandica*) в Баренцевом море и Воронке Белого моря в 1987–2009 гг. // Вопр. рыболовства. 2012. Т. 13. № 1 (49). С. 71–89.

Золотарев П.Н., Карасева Т.А. Патологии у исландского гребешка (*Chlamys islandica*) Баренцева моря: основные характеристики и распространение // Тез. докл. VII Всерос. конф. по промысловым беспозвоночным. М.: ВНИРО, 2006. С. 235–237.

Рукер У.Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1979. 408 с.

Aschan M.M. The effect of Iceland scallop (*Chlamys islandica*) dredging at the Jan

Mayen and in the Spitsbergen area // ICES C.M. 1988. K.16. P. 16–22.

Bakanev S.V. On the Possibility of Using Bayesian Approach to Assess the Northern Shrimp (*Pandalus borealis*) Stock in the Barents Sea and Spitzbergen // NAFO SCR Doc. 06/070. 2006. Ser. № 5195. 7 p.

Bayes T. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances // Biometrika. 1958. № 45. P. 293–315.

Doubleday W.G. Manual on ground-fish survey in the Northwest Atlantic // NAFO Sci. Coun. Studies. 1981. V. 2. 55 p.

Fisheries and Aquatic Statistics. FAO Yearbook. Roma: FAO, 1985–2012.

Fox W.W. An exponential surplus-yield for optimizing exploited fish populations // Trans. Am. Fish. Soc. 1970. V. 99. P. 80–88.

Gilks W.R., Wang C.C., Yvonnet B., Coursaget P. Random-effects models for longitudinal data using gibbs sampling // Biometrics. 1992. V. 48. P. 234–256.

Graham M. Modern theory of exploiting a fishery and application to North Sea trawling // J. Cons. Int. Explor. Mer. 1935. V. 10. P. 264–274.

Gruffid L.B. Mortality on a Manx scallop bed due to fishing // J. Marine Biol. Ass. UK. 1972. № 52 (2). P. 445–449.

Helser T.E., Hayes D.B. Providing quantitative management advice from stock abundance indices based on research surveys // Fish. Bull. US. 1995. V. 93. P. 290–298.

Hvingel C., Kingsley M.C.S. A framework to model shrimp (*Pandalus borealis*) stock dynamics and quantify risk associated with alternative management options, using Bayesian methods // ICES J. Mar. Sci. 2006. V.63. P. 68–82.

Ludwig D., Hilborn R. Adaptive probing strategies for age structured fish stocks // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1983. V. 40. P. 559–569.

McAllister M.K., Kirkwood G.P. Bayesian Stock assessment: a review and example application using the logistic model // ICES J. Mar. Sci. 1998. V. 55. P. 1031–1060.

- Pedersen S.A.* Inshore scallop resources, *Chlamys islandica*, in the Nuuk Area West Greenland // ICES CM. 1988. K:17. 5 p.
- Pella J.J., Tompkinson P.K.* A generalized stock production model // Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. 1969. V.13. P. 419–496.
- Ragnarsson S.A., Steingrímsson S.A., Noevestad D. et al.* Bottom trawling and scallop dredging in the Arctic. Impacts of fishing on non-target species, vulnerable habitats and cultural heritage / Ed. Garcia E. G. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2007. 375 p.
- Richards F.J.* A flexible growth function for empirical use // J. Exp. Bot. 1959. V.10. P. 290–300.
- Ricker W.E.* Computation and interpretation of biological statistics of fish populations // Bull. Fish. Res. Bd. Can. 1975. V. 191. 382 p.
- Schaefer M.B., Milner B.* Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries // Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. 1954. V. 1. № 2. P. 25–56.
- Schaefer M.B., Milner B.* A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the Eastern tropical Pacific Ocean // Ibid. 1957. V. 2. № 6. P. 245–285.
- Seber G.A.F.* The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters. N.Y.: Macmillan Publ. Co., 1982. 654 p.
- Spiegelhalter D.J., Thomas A., Best N.* WinBUGS version 1.3 User Manual. Cambridge, England: MRC Biostatistics Unit, Inst. of Public Health, 2000. 167 p.
- Sundet J.H., Zolotarev P.N.* Iceland scallop // The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation // Trondheim: IMR; PINRO, 2012. P. 186–191.
- Zolotarev P.N.* Population density and size structure of sea stars on beds of Iceland scallop, *Chlamys islandica*, in the southern Barents Sea // Sarsia. 2002. V. 87. № 1. P. 91–95.

## STUDY OF THE BARENTS SEA ICELAND SCALLOP *CHLAMYS ISLANDICA* STOCK DYNAMICS USING THE ANALYTICAL MODEL

© 2015 y. S. V. Bakanev, P. N. Zolotarev

*Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography  
Murmansk, 183038*

Scallop abundance dynamics in the fishery concentration of the Svyatoy Nos Cape in 1991–2012 was studied. It was found that the scallop stock abruptly reduced in that period due to high direct and indirect fishing mortality against low recruitment. Modelling of the scallop stock dynamics using the Bayesian approach showed that, at present, the aggregation productivity is quite low as a result of which the stock will not be able to recover to the initial level in the nearest 10–20 years even if there is no fishery here.

*Keywords:* Iceland scallop, the Barents Sea, abundance dynamics, modelling, Bayesian method.