

УДК 599.745.3-152.6.08 (268.4)

**Оценка численности гренландского тюленя беломорской популяции в условиях недостатка биологической информации***В.А. Коржев, В.Б. Забавников*

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства океанографии

им. Н.М. Книповича (ФГБНУ «ПИНРО»), г. Мурманск

E-mail: ltei@pinro.ru

Объектом исследования в представленном материале является беломорская популяция гренландского тюленя *Pagophilus groenlandicus*, а целью работы — сравнение результатов оценок динамики её численности когортной и продукционной математическими моделями на современном этапе при отсутствии достаточного объёма биологической информации. В связи с этим на немногочисленных доступных литературных данных о динамике основных биологических параметров беломорской популяции гренландского тюленя (БПГТ) выполнены экспериментальные расчёты её численности обеими моделями с различными сочетаниями значений параметров, описывающих состояние популяции. В качестве исходной когортной модели в данном случае используется модификация модели динамики численности БПГТ, разработанная совместной рабочей группой (РГ) Международного совета по исследованию моря (ИКЕС) и организации по рыболовству в северо-западной части Атлантического океана (НАФО) — РГ ИКЕС/НАФО (в настоящее время — это совместная РГ ИКЕС/НАФО и Комиссии по морским млекопитающим Северной Атлантики (НАММКО)) по гренландскому тюленю и хохлачу (WGHARP). В представленную в этом материале когортную модель включены переменные по годам и возрастам показатели репродуктивности БПГТ, которыми являются коэффициенты беременности самок (возможности рожать, рождаемости) и возраста полового созревания (огивы созревания). В качестве продукционной модели используется модифицированная модель, основанная на анализе стохастического уменьшения величины запаса (Stochastic Stock Reduction Analysis — SSRA), в основу которой положена логистическая зависимость роста популяции по Шеферу.

**Ключевые слова:** гренландский тюлень *Pagophilus groenlandicus*, Белое море, моделирование, численность популяции, продукционная модель, созревание, коэффициент беременности, общий допустимый улов, щенки.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время для изучения состояния популяций различных видов гидробионтов (включая и морских млекопитающих, о которых пойдёт речь в дальнейшем) широко применяются методы математического моделирования, которые позволяют быстро и с наименьшими материальными затратами

оценить наиболее важные параметры, характеризующие состояние запасов и промысла морских млекопитающих и отвечающие основному условию, — адекватности моделируемому процессу.

Как известно, для Северного рыболово-промышленного бассейна одним из важных объектов как для промысла, так и в качестве

важного элемента морской экосистемы в отношении морских млекопитающих, является гренландский тюлень беломорской популяции *Pagophilus groenlandicus* (Erxleben, 1777). С конца XX-го столетия оценка её численности выполняется с помощью когортных математических моделей. Их подробное описание приводится в отчётах WGHARP [Report..., 2008; 2011] и в работе Коржева [2014]. В первых вариантах модели для оценки численности запаса беломорской популяции гренландского тюленя (БПГТ) использовались постоянные по годам огива созревания и коэффициент беременности самок (доля самок, участвующих в воспроизводстве). Позднее модель совершенствовалась с учётом возможности использования переменных по годам параметров воспроизводства. В данной работе использована модель с переменными по годам и возрастам показателями репродуктивности популяции (коэффициента беременности самок и возраста 50%-ного созревания).

В когортной модели точность оценки численности зависит от достоверности параметров воспроизводства популяции. Учитывая, что доступной биологической информации о динамике коэффициентов беременности и созревания для БПГТ за последнее время собрано очень мало, была выполнена попытка оценки численности популяции с помощью более простой, не требующей дополнительной биологической информации продукционной

модели. В качестве продукционной модели использовалась модифицированная модель SSRA (Stochastic Stock Reduction Analysis) [Christense, 2006], в основу которой положена логистическая зависимость роста популяции по Шеферу [Рикер, 1979]. В модели используются два оцениваемых параметра: численность в стартовый год (или ёмкость среды) и коэффициент ежегодного прироста популяции.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

**Данные.** В работе использованы данные вылова по материалам WGHARP [Report..., 2008, 2011] и литературным источникам. Ввиду отсутствия достаточного количества информации о коэффициентах созревания и беременности самок БПГТ предполагалось, что их динамика имеет ту же направленность (а именно — постоянное снижение доли рожающих самок в 2000-е гг.), что и динамика этих показателей для гренландского тюленя ньюфаундленской популяции (ГТНП). Динамика коэффициента беременности самок ГТНП взята из работы Съяре, Стенсона [Sjare, Stenson, 2010]. Численность приплода (щенков) взята из материалов WGHARP и литературных источников, в которых представлены результаты российских (ПИНРО) учётных авиационных исследований в щенковый и линный периоды (соответственно, на щенковых и линных залежках) БПГТ 1928–2013 гг. (табл. 1).

**Таблица 1.** Численность беломорской популяции гренландского тюленя по результатам авиационных исследований ПИНРО и литературным источникам (тыс. экз.)

| Год  | Вид съёмки                                    |                        |                        | CV | Численности популяции в возрасте 1+ |
|------|---|------------------------|------------------------|----|-------------------------------------|
|      | Линные залежки (вся популяция и только самцы) | Щенные залежки (самки) | Щенные залежки (щенки) |    |                                     |
| 1928 | +   |                        |                        |    | 3000                                |
| 1953 | +   |                        |                        |    | 1400                                |
| 1959 | 310,0   |                        |                        |    | 1200                                |
| 1962 | 76,2  |                        |                        |    | 305                                 |
| 1968 |   | 70,5                   |                        |    | 344                                 |
| 1970 |   | 82,1                   |                        |    | 400                                 |
| 1973 |   | 92,7                   |                        |    | 450                                 |
| 1976 |   | 107,7                  |                        |    | 551                                 |

Окончание табл. 1

| Год  | Вид съёмки                                    |                        |                        | CV                | Численности популяции в возрасте 1+ |
|------|---|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------------------|
|      | Линные залежки (вся популяция и только самцы) | Щенные залежки (самки) | Щенные залежки (щенки) |                   |                                     |
| 1980 | 138,6   |                        |                        |                   | 600                                 |
| 1985 | 139,4   |                        |                        |                   | 700                                 |
| 1988 | 138,5   |                        |                        |                   | 624                                 |
| 1991 | 164,7   |                        |                        |                   | 622                                 |
| 1998 |   | 286,3                  | 0,073                  | 1430 <sup>1</sup> |                                     |
| 2000 |   | 325,6                  | 0,111                  | 1625 <sup>1</sup> |                                     |
| 2002 |   | 330,0                  | 0,095                  | 1650 <sup>1</sup> |                                     |
| 2003 |   | 327,0                  | 0,103                  | 1635 <sup>1</sup> |                                     |
| 2004 |   | 238,5                  | 0,125                  | 1165 <sup>1</sup> |                                     |
| 2005 |   | 122,4                  | 0,15                   | 612 <sup>1</sup>  |                                     |
| 2008 |   | 123,2                  | 0,16                   | 620 <sup>1</sup>  |                                     |
| 2009 |   | 155,0                  | 0,15                   | 780 <sup>1</sup>  |                                     |
| 2010 |   | 162,0                  | 0,15                   | 810 <sup>1</sup>  |                                     |
| 2013 |   | 128,8                  | 0,237                  | 640 <sup>1</sup>  |                                     |

Примечания. + — в ходе проведения исследований оценивалась численность всей популяции в линный период.

<sup>1</sup> Численность тюленей, рассчитанная путём умножения численности щенков на коэффициент 5,0, что выполнялось в период 1968—1991 гг.

Необходимо отметить, что вначале, в 1928 и 1953 гг., при осуществлении этих работ оценивалась общая численность всей популяции, затем, до 1962 г., определялось количество взрослых самцов (животные старше одного года, 1+) на линных залежках, в период с 1968 по 1991 гг. — число взрослых самок на щеневых залежках, а с 1998 г. по настоящее время — количество щенков (детёнышей, возраст 1-) в щеневой период. При этом использовалась новая современная методология проведения авиационных исследований, разработанная ПИНРО, основанная на применении так называемой мультиспектральной технологии. Следует отметить, что при подсчёте числа самок на щеневых залежках предполагалось, что одна самка производит одного детёныша, т.е. количество щенков принималось равным числу беременных самок.

*Когортная модель.* Используемая в настоящей статье когортная модель оценки численности БПГТ является модифика-

цией оценочной модели, используемой на WGHARP [Report..., 2008]. Модификация модели предполагает возможность ввода и использования в расчётах переменных по годам и возрастам долей созревших самок (огивы созревания) и переменного по годам коэффициента рождаемости (беременности самок на последней стадии). При наличии этих данных модель будет иметь только один неизвестный настраиваемый параметр  $K$  — численность популяции в возрасте 1+ в стартовый год. Настройка модели проводится путём минимизации суммы квадратов отклонений между моделируемой и наблюдаемой по съёмкам численностью щенков.

При определении параметра созревания принимается среднее значение возраста 50%-ного полового созревания ( $i_{50}$ ), и он также как огива созревания оценивается по логистической кривой, которая настраивается на наблюдаемую долю половозрелых животных по возрастам (использовались литературные данные 1962—1993 гг.).

$$\rho(i) = \frac{1}{1 + \exp(-k(i - i_{50}))}, \quad (1)$$

где:  $i$  — возраст, лет;  $\rho(i)$  — оценка доли половозрелых животных в возрасте  $i$ ;  $k$  — наклон касательной в точке перегиба (максимальная скорость созревания), доля в год;  $i_{50}$  — возраст 50%-ного созревания самок, лет.

Созревание тюленей по литературным данным удалось оценить только для небольшого количества объединённых периодов времени, что представлено на рис. 1 А. Для тех лет, за которые нет наблюдённых данных, была использована линейная интерполяция между соседними известными периодами, что отображено на рис. 1 Б.

### Динамика коэффициента беременности.

По литературным источникам для БПГГ удалось найти только два периода, для которых были определены значения коэффициента беременности самок на последней стадии. При отсутствии этих данных использовались опубликованные сведения о коэффициенте беременности самок на последней стадии гренландских тюленей, определённые по пробам, взятым в водах моря Лабрадор вблизи о-ва Ньюфаундленд (так называемый гренландский тюлень ньюфаундлендской популяции — ГТНП или НПГТ).

Для самок ГТНП Сьяре и Стенсон [Sjare, Stenson, 2010] отмечают чёткий тренд снижения коэффициента беременности ( $F$ ) во времени.

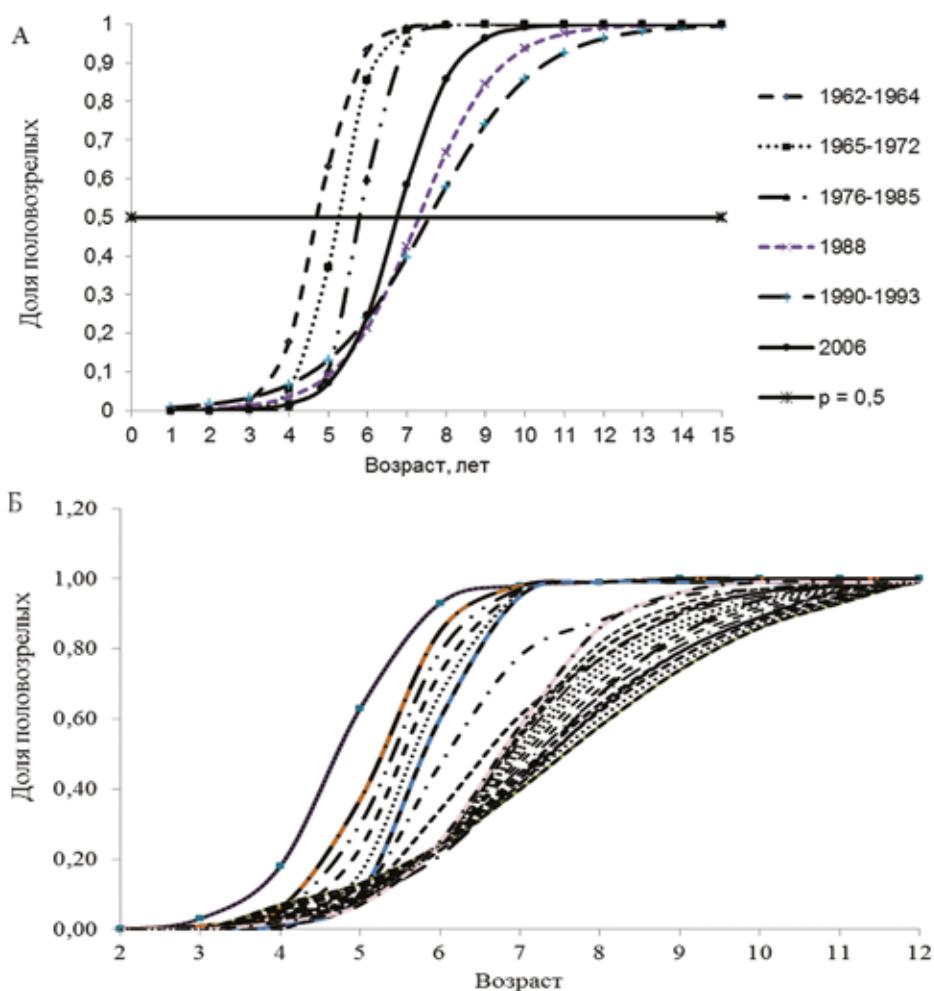


Рис. 1. Кривые созревания гренландского тюленя беломорской популяции за 1962–2015 гг.

Предположив, что для самок БПГТ также, начиная с 1980 г. происходило снижение коэффициента беременности, для его расчёта использовали уравнение линейной регрессии на время (2):

$$F = -0,007033333 * T + 14,777, \quad (2)$$

где  $T = 1980, 1981, \dots, 2015$  гг.

Динамика этого параметра представлена на рис. 2.

Для периода 1946–1979 гг. коэффициент  $F$  принят постоянным и равен 0,851. Принципиального влияния на величину оценок численности это значение коэффициента  $F$  практически не имеет (за исключением неправдоподобных оценок). Можно использовать также значение  $F = 0,84$  (принятое ранее априорно WGHARP для БПГТ). В этом случае необходимо пересчитать значения коэффициентов регрессионного уравнения (2).

Одной из неопределённостей в когортных моделях является использование последнего возраста как «плюс-группы». В модели с 19 возрастными группами (1–19 лет) возрастная группа 19+ составляет более 20%, а в первые годы (1946–1960 гг.) — более 30% численности всей взрослой части популяции. Если учитывать, что вся «плюс-группа» — половозрелые животные, её роль в нерестовом запасе увеличивается до 40–54% численности. Это очень высокие значения, которые оказывают большое влияние на общую численность популяции. Для устранения неопределённости

в данную когортную модель «плюс-группа» не включена.

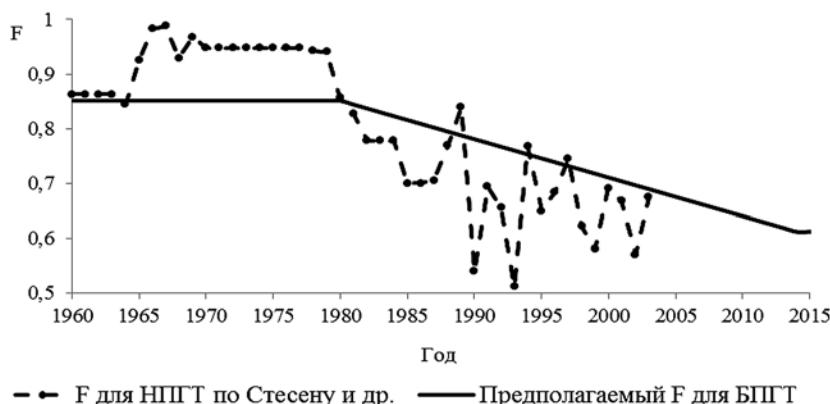
*Продукционная модель SSRA.* В качестве альтернативной модели для оценки численности БПГТ использовалась продукционную модель SSRA. В основу SSRA положен логистический закон роста численности по Шефферу:

$$N_{t+1} = N_t + r_{max} N_t \left(1 - \frac{N_t}{K}\right) - C_t; \quad (3)$$

$$N_1 = K, \quad (4)$$

где  $N_t$  — численность популяции;  $r_{max}$  — максимальная свойственная объекту скорость прироста продукции;  $K$  — ёмкость среды;  $C_t$  — наблюдаемый вылов.

Далее рассмотрим параметризацию модели. Продукционная модель SSRA имеет два неизвестных параметра:  $r_{max}$  — ежегодный коэффициент прироста численности популяции,  $K$  — начальная численность популяции. Для определения граничных значений параметров учитывалось следующее. С 1991 по 2000 гг. численность приплода (при условии, что количество половозрелых самок на щенковых залижках соответствует количеству рождённых щенков) резко увеличилась с 142 до 340 тыс. экз., что соответствует скорости роста щенков, равной 0,14 или 14% в год. Анализируя динамику численности различных популяций морских млекопитающих, П. Р. Ваде [Wade,



**Рис. 2.** Коэффициенты беременности самок гренландских тюленей, определённые по пробам, взятым в водах Ньюфаундленда и Лабрадора в 1954–2004 гг., и предполагаемые коэффициенты рождаемости  $F$ , используемые при оценке численности гренландского тюленя беломорской популяции

1998] показал, что скорость роста китообразных составляет в среднем 0,04, а ластоногих 0,12. В то же время по материалам, представленным в статье Гайденока [Гайденок и др., 2012], скорость роста численности самок БПГТ, способных родить в 1968–1991 гг., составляла 0,0434 в год, что более чем в 3 раза меньше, чем в 1991–2000 гг.

Учитывая большую неопределенность в оценках скорости прироста численности БПГТ, было сделано предположение о том, что коэффициент  $r_{max}$  — случайная величина, имеющая нормальный закон распределения плотности вероятности со средним значением  $r_{mean}$  и дисперсией  $\sigma^2$ , т.е.  $r \sim N(r_{mean}, \sigma^2)$ , а параметр  $K$  — случайная величина, распределенная равномерно с заданными значениями  $K_{min}$  и  $K_{max}$  ( $K \sim U(K_{min}, K_{max})$ ). Расчеты выполнялись с различными значениями параметров  $r_{mean} \in [0,06, 0,12]$  (дисперсия принималась равной  $0,2r_{mean}$ ). Для начальной численности диапазон изменения принят достаточно большим, чтобы не зависеть от стартового года (от времени начала эксплуатации), т.е.  $K \in [50\,000, 10\,000\,000]$ .

Использовалась следующая процедура расчета численности популяции. В цикле по заданному числу итераций из априорных распределений плотности вероятности параметров выбирались случайным образом значения для  $r_{max}$  и  $K$ . Для этого набора значений параметров вычислялась траектория динамики численности, используя уравнения 3 и 4, а по уравнению 5 рассчитывалась условная вероятность:

$$L(y_t | r_{max}, K, w_t) = n \left[ \log(\sigma_y) + \frac{1}{2} \log(2\pi) \right] + \sum \frac{z_t^2}{2\sigma_y^2}, \quad (5)$$

где  $n$  — число наблюдений численности;  $\sigma_y$  — стандартное отклонение в оценке численности (ошибка наблюдения);  $z_t$  — логнормально распределенные остатки

$$z_y = \log(N_t) - \log(y_t), \quad (6)$$

где  $N_t$  — наблюданная численность;  $y_t$  — моделируемая численность.

Результаты расчётов сохранялись, и эта процедура выполнялась заданное число раз (не ме-

нее 50000 итераций). Затем, на следующем шаге вычислений, отбирались те векторы параметров, которые имели апостериорную вероятность выше заданного порогового значения. В заключении вычисляли наиболее вероятную оценку (медиану) и 95%-ные доверительные интервалы значений для  $N$ . Оценку параметров моделей (настройку) проводили по данным авиационных исследований щенков БПГТ и литературным сведениям об оценках численности взрослых животных и приплода за период с 1928 по 2013 гг.

## Результаты

Оценка численности БПГТ выполнялась по модели WGHARP, модифицированной модели ПИНРО и производственной модели, представленными на рис. 3, соответственно, как WGHARP, модель ПИНРО и ProdSSRA. В когортной модели WGHARP и модифицированной модели ПИНРО использовались переменные по годам коэффициенты рождаемости (или беременности самок на последнем этапе) и огибы созревания. Настройка этих моделей проводилась по данным о численности щенков, полученным при выполнении авиационных исследований. На рис. 3 цифры после названия модели означают используемые для настройки годы. Например, название «WGHARP 1962–1991 2005–2013» означает, что при настройке модели использовались результаты авиационных исследований за 1962–1991 гг. и за 2005–2013 гг., соответственно. В моделях WGHARP стартовым годом является 1946 г. В модели ПИНРО за стартовый год принят 1960 г. (именно с этого периода имеются российские биологические данные по распределению самок на залежках по возрастным группам). В модели ПИНРО использовались свои огибы созревания и коэффициенты рождаемости.

Необходимо отметить, что в период 1998–2004 гг. по данным авиационных исследований резко возросла численность щенков (а, следовательно, и самок) на щенковых залежках, которая превысила обычное представление о численности самок (а следовательно и щенков) в 2–2,5 раза (см. табл. 1). Затем, начиная с 2005 г., численность приплода снова снизилась и вернулась в диапазон предыдущих

значений. Такое резкое колебание численности щенков оказывает большое влияние на результаты настройки и расчёты по оценке численности всей популяции. В процессе исследования были выполнены расчёты по когортным моделям с учётом и без учёта результатов авиационных исследований 1998–2004 гг.

Расчёты показывают, что при настройке без 1998–2004 гг., обе используемые когортные модели имеют схожие тенденции в динамике численности щенков и взрослых животных, а также не имеют больших расхождений в расчётах по оценке численности всей БПГТ. Величина приплода, рассчитанная по модифицированной модели ПИНРО до 2013 г. несколько выше, чем по модели WGHARP (см. рис. 3).

После 2012 г. численность щенков, рассчитанная по модели ПИНРО, становится ниже, чем по модели WGHARP, и составляет около 150 тыс. голов против 180 тыс., соответственно. Подобная разница в определённой степени может быть объяснима тем, что после 2013 г. авиационные исследования на щенковых залежках не проводились, и по этой причине в модельные расчёты заложены разные прогнозные значения коэффициента рождаемости и огибы созревания.

Аналогичную динамику показывает и численность взрослых животных, рассчитанная по когортным моделям, которая оценивается на 2016 г. порядка 0,8–1,0 млн голов. Численность щенков, и взрослых животных, рассчитанная по когортным моделям

с учётом результатов авиационных исследований за 1998–2004 гг., значительно отличается от предыдущих оценок (см. рис. 3, кривая WGHARP 1998–2013). Динамика изменения численности как щенков, так и взрослых животных по этому варианту имеет схожие тенденции с другими вариантами, изображёнными на рис. 3, однако значения численности гораздо выше на протяжении всего периода 1946–2016 гг. В 2016 г. численность щенков по этому варианту модели оценивается примерно 205 тыс., а взрослых животных — 1,3 млн голов.

По продукционной модели рассчитывалась численность взрослых животных. Для настройки модели использовались все доступные сведения из литературных источников и данные по численности приплода, полученные при проведении авиационных исследований ПИНРО на щенковых залежках (см. табл. 1). При этом ориентировочная численность животных в возрасте 1+ в годы, за которые нет литературных данных о величине всей популяции, а именно 1998–2013 гг., когда проводились авиационные исследования, определялась умножением численности щенков на коэффициент 5. Этот коэффициент использовался ранее (в 80–90-х гг. прошлого столетия) при пересчёте численности самок на щенковых залежках в общую численность животных.

Количество взрослых животных, рассчитанное по продукционной модели, очень близко к численности, рассчитанной по когортным моделям, настроенным без учёта съё-

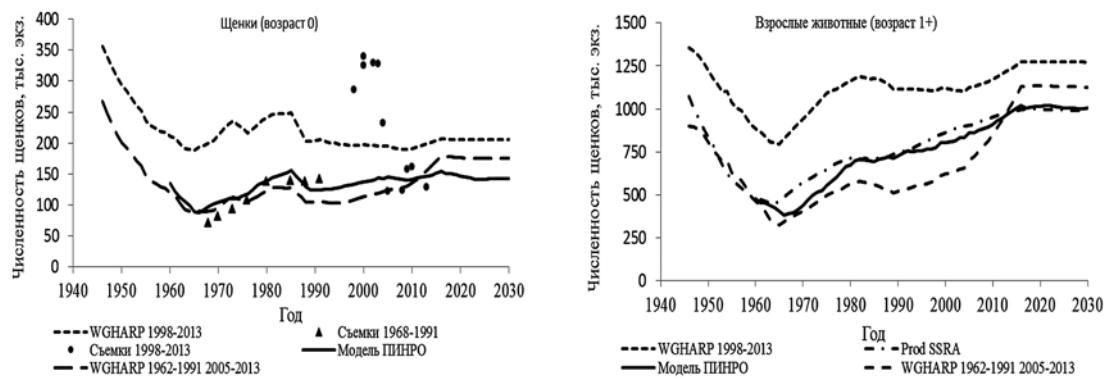


Рис. 3. Динамика численности гренландского тюленя беломорской популяции за период с 1946 по 2030 гг., рассчитанная разными моделями

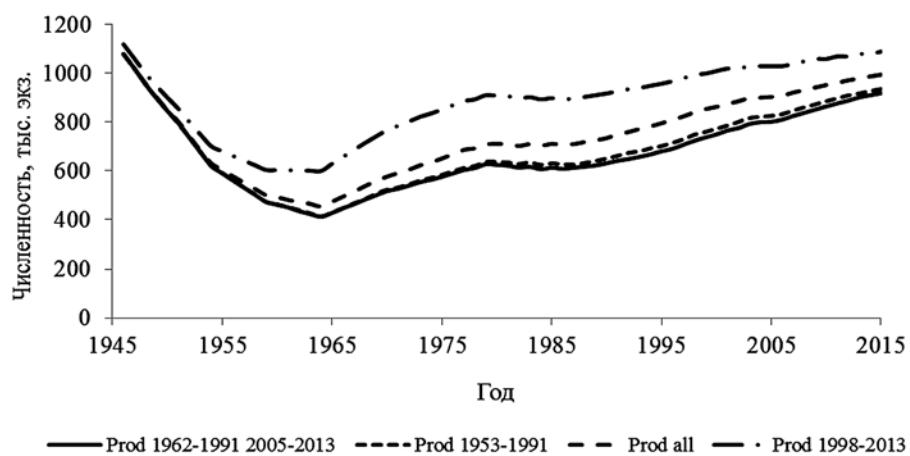
мок 1998–2004 гг. (см. рис. 3, кривая Prod SSRA). При этом оценки численности по производственной модели довольно устойчивы, но также зависят от выбранных для настройки лет (хотя и в меньшей степени), что представлено на рисунке. Если используется весь ряд имеющихся для настройки данных, то результаты авиационных исследований на щенков залежках 1998–2013 гг. не оказывают существенного влияния на оценку всей численности БПГТ, т.к. в большой степени нивелируются результатами авиационных исследований других лет (см. рис. 4, кривая Prod all). При условии, даже если используются только результаты авиационных исследований приплода последних лет 1998–2013 гг., численность БПГТ в 2015 г. оценивается на уровне 1 млн животных (см. рис. 4, кривая Prod 1998–2013). Поэтому с высокой долей вероятности можно предположить, что наиболее правдоподобны оценки, полученные при использовании в настройке всех имеющихся данных.

В производственной модели параметр  $K$  определяет ёмкость среды, т.е. количество животных, проживание которых может обеспечить среда (численность неэксплуатируемой популяции). Данные о промысле тюленей беломорской популяции имеются с 1875 г., поэтому в первом приближении можно предположить, что до 1875 г. популяция не эксплуатировалась (или эксплуатировалась с очень небольшой интенсивностью).

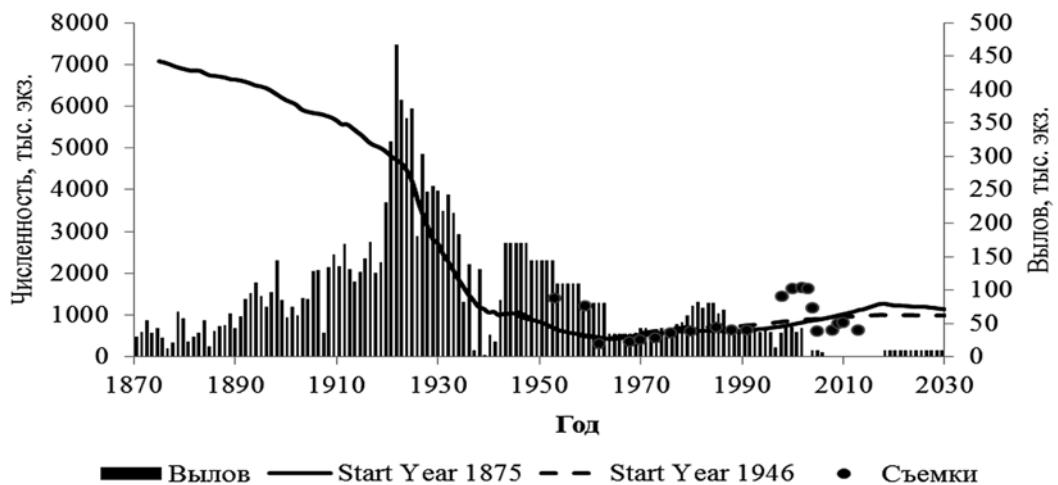
В связи с этим для оценки зависимости результатов от стартового года были выполнены расчёты численности животных по производственной модели со стартовыми 1875 и 1946 гг., что представлено на рис. 5. На первый взгляд представляется, что полученное значение ёмкости среды или численность БПГТ до начала промысла оценивается чрезмерно высоко (около 7 млн животных), однако, необходимо учитывать, что ёмкость среды — это теоретический показатель. Главным же принципом в динамике численности популяции по производственной модели являются её тенденции, связанные с добычей (выловом) животных, которые должны отвечать наблюдаемым в популяции тенденциям. Если считать достоверным объём добычи по 200–400 тыс. животных в год в течение ряда лет (1920–1935 гг.), то такая ёмкость среды не выглядит слишком завышенной.

Расчёты показывают, что с началом эксплуатации численность популяции начинает сокращаться, и это сокращение тем сильнее, чем выше уровень изъятия. Об оценках численности популяции до начала проведения авиационных исследований практически ничего неизвестно. Первые оценки были получены Сурковым в 1953 г. (порядка 1,3–1,5 млн животных).

На начало 1946 г., принятого за стартовый год в моделях WGHARP, численность животных по производственной модели оценивается на



**Рис. 4.** Динамика численности гренландского тюленя беломорской популяции за период с 1946 по 2015 гг., рассчитанная производственной моделью с разными периодами, выбранными для настройки



**Рис. 5.** Оценка численности гренландского тюленя беломорской популяции продукционной моделью с разными стартовыми годами

уровне 1,0–1,1 млн для различных периодов настройки: с учётом результатов авиационных исследований 1998–2004 гг. и без них, а также без учёта аналогичных работ при подсчёте числа самок за 1962–1991 гг., т.е. оценка по модели устойчива. Следует также отметить, что с большой долей вероятности оценки численности животных в возрасте 1+ БПГТ на 2016 г. по разным моделям, настроенным без учёта результатов авиационных исследований за 1998–2004 гг., изменяются незначительно, в диапазоне от 0,996 млн животных до 1,172 млн.

## Обсуждение

Согласно концепции осторожного подхода при управлении промыслом гренландского тюленя всех популяций Северной Атлантики, разработанной WGHARP, в настоящее время БПГТ относится к популяции «бедной» данными. Это обусловлено тем, что с начала 2000-х гг. практически отсутствует сбор достоверной и надёжной биологической информации. Этот период существенно превышает установленный рабочей группой критерий отсутствия наблюдений в течение 5 лет. Однако последние учётные авиационные исследования на щенковых залежках были выполнены в 2013 г., что соответствует установленному критерию. За последние 18 лет (с 1998 по 2016 гг.) проведено 10 подобных работ и, следовательно, есть надёжная и репрезентативная

информация для настройки моделей динамики численности.

В период с 2005 по 2013 гг. численность щенков оценивается на уровне 120–160 тыс. голов (см. табл. 1). Оставляя без анализа причины, по которым их количество в 1998–2004 гг. значительно (в 2–2,5 раза) превышало уровень предыдущего и последующего периодов, нужно отметить, что сам этот факт существенно влияет на оценки численности по когортным моделям. Ни одна из модификаций модели WGHARP не может описать эти изменения в численности щенков. Кроме того, в отсутствие биологической информации о коэффициентах беременности самок животных и их полового созревания использование средних значений этих параметров делает оценки численности БПГТ по моделям в настоящее время ненадёжными. В этих условиях, с большой долей вероятности, представляется целесообразным для оценки численности БПГТ предпочтительнее использовать продукционные модели, и в частности SSRA. Для реализации продукционных моделей необходимо знать только несколько оценок численности (желательно более близких к терминальному году) и коэффициент ежегодного роста численности популяции ( $r_{max}$ ). Коэффициент  $r_{max}$  специфичен для каждой популяции. Колебания его значений для разных видов ластоногих составляют от 0,08 до 0,12 в год [Wade, 1998]. Наши исследования показали, что для БПГТ

коэффициент роста имеет тесную связь с численностью в стартовый год и составляет примерно 0,08–0,1 в год в зависимости от длины периода расчёта. Имея достаточное количество данных о численности БПГТ, можно настраивать значение  $r_{\max}$  вероятностным способом.

**Прогнозирование.** В настоящее время активного, полномасштабного промысла БПГТ, как это было ранее, по различным причинам не ведётся. Вместе с этим ежегодно рассчитывается общий допустимый улов (ОДУ), т.к. этот запас эксплуатируется совместно Россией и Норвегией в рамках межправительственных соглашений, которые формируются во время работы Смешанной российско-норвежской комиссии по рыболовству, в рамках которой ежегодно устанавливается квота для каждой из сторон.

Для тюленей Северо-Западной Атлантики (НПГТ) WGHARP принят следующий подход расчёта ОДУ: определяется такое постоянное значение вылова, которое стабилизирует численность в течение последующих 10 лет на уровне года прогноза, а также такой вылов, который приведёт в течение 10 последующих лет к снижению численности до 70% от максимального количества животных. Учитывая отсутствие биологических данных о состоянии БПГТ, когортные модели, с большей долей вероятности, целесообразно рассматривать малопригодными для прогнозирования. В связи с этим представляется целесообразным рассчитывать ОДУ БПГТ по когортной и продукционной моделям. В табл. 2, в качестве примера,

приводится прогноз добычи взрослых животных БПГТ.

Прогноз выполнен для трёх опций добычи. Так как промысел БПГТ в настоящее время не проводится, то опция «Текущий» в табл. 2 показывает, что по когортной модели за 10 лет (2016–2026 гг.) в отсутствие промысла численность тюленей может вырасти на 51% (см. табл. 2, когортная модель). Для сохранения численности тюленей на уровне 2016 г. возможно добывать ежегодно по 32,2 тыс. животных в возрасте 1+. При промысле около 51 тыс. взрослых животных численность БПГТ за 10 лет снизится на 30%.

Прогноз вылова по продукционной модели несколько меньше. При отсутствии промысла численность популяции возрастёт примерно на 8%. Для поддержания популяции на текущем уровне ежегодный вылов может составлять 6,7 тыс. голов. При промысле в 40 тыс. т численность популяции за 10 лет снизится на 70%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практически с начала 2000-х гг. в Баренцевом и Белом морях не осуществляется сбор данных о биологическом состоянии гренландского тюленя беломорской популяции. Отсутствие таких данных (по коэффициентам беременности самок, половому созреванию, смертности щенков и взрослых животных) делает ненадёжными оценки численности БПГТ, разработанные по когортным моделям. Дальнейшее совершенствование когортных моделей невозможно по тем же причинам — из-за от-

**Таблица 2.** Варианты вылова с соответствующей тенденцией изменения численности (D1+) в течение следующего 10-летнего периода для БПГТ

| Опции                       | Уровень добычи                   | Доля 1+ в добыче | Добыча щенков | Добыча тюленей 1+ | $D_{1+} = N_{2026}/N_{2016}$ |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------|---------------|-------------------|------------------------------|
| <i>Когортная модель</i>     |                                  |                  |               |                   |                              |
| 1                           | Текущий                          |                  | 0             | 0                 | 1,51                         |
| 2                           | Поддерживающий                   | 100%             | 0             | 32 200            | 1,00                         |
| 3                           | Поддерживающий 70% от $N_{\max}$ | 100%             | 0             | 50 940            | 0,70                         |
| <i>Продукционная модель</i> |                                  |                  |               |                   |                              |
| 1                           | Текущий                          |                  | 0             | 0                 | 1,02                         |
| 2                           | Поддерживающий                   | 100%             | 0             | 6 700             | 0,94                         |
| 3                           | Поддерживающий 70% от $N_{\max}$ | 100%             | 0             | 40 000            | 0,57                         |
|                             |                                  |                  |               |                   | 0,69                         |
|                             |                                  |                  |               |                   | 0,79                         |

существия информации. Использование постоянных для всего периода биологических показателей приводит к зависимости результатов расчётов от количества используемых для настройки лет с данными авиационных исследовательских работ и начального года расчёта.

В этих условиях, с большой долей вероятности, можно предположить, что более надёжными и качественными выглядят результаты расчёта численности БПГТ с применением продукции моделей (в частности модели SSRA), которые не требуют использования биологических параметров. Оценки по продукциим моделям мало зависят от количества данных для настройки и стартового года. Тенденции, наблюдаемые в динамике численности БПГТ, а именно: резкое снижение её значений в 60–70-х гг. прошлого столетия, вызванное высоким уровнем добычи животных в предшествующий период, восстановление численности после введённого ограничения на промысел, и относительно стабильную ситуацию с ней в последующие годы, достаточно хорошо описываются продукциими моделями.

В заключение необходимо отметить, что для надёжных, качественных и репрезентативных оценок численности БПГТ необходимы регулярное проведение авиационных исследовательских работ на щенных залежках животных (как минимум один раз в три года), а также сбор необходимой биологической информации в специализированных научных экспедициях или во время промысловой деятельности добывающими компаниями.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Гайденок Н.Д., Макаревич П.Р., Огнетов Г.Н., Чмаркова Г.М. 2012. Анализ результатов мониторинга беломорской популяции гренландского тюленя // Рыбное хозяйство. № 2. С. 67–72.
- Коржев В.А., 2014. Оценка численности и управление промыслом гренландского тюленя *Pagophilus groenlandicus* (*Phoca groenlandica* Erxleben, 1777) // Труды ВНИРО. М.: Изд-во ВНИРО. Т. 151. С. 87–94.
- Ricker W.E. 1979. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. М: Пиц. пром-ть. 408 с. (Ricker W.E., 1975. Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations. Dep. of the Environment Fisheries and Marine Service Pacific Biological Station Nanaimo, B.C., 408 p.).
- Christensen L.B. 2006. Marine Mammal Populations: Reconstructing historical abundances at the global scale. Fisheries Centre, Univ. of British Columbia, Canada Fisheries Centre Research Reports 14(9), 161 p.
- Report of the Working Group on Harp and Hooded Seals (WGHARP), Tromsø, Norway, 27–30 August 2008 // ICES CM 2008/ACOM: 17. 59 pp.
- Report of the Working Group on Harp and Hooded Seals (WGHARP), St. Andrews, Scotland, 15–19 August 2011 // ICES CM 2011/ACOM: 21. 68 p.
- Sjare B., Stenson G.B. 2010. Changes in the reproductive parameters of female harp seals (*Pagophilus groenlandicus*) in the Northwest Atlantic // ICES J. Mar. Sci. Vol. 67. P. 304–315.
- Wade P.R. 1998. Calculating Limits to the allowable Human — Caused Mortality of Cetaceans and Pinnipeds // Marine mammal science, 14 (1): 1–37.

#### REFERENCES

- Gajdenok N.D., Makarevich P.R., Ognetov G.N., Chmarkova G.M. 2012. Analiz rezul'tatov monitoringa belomorskoj populyacii grenlandskogo tyulena [Analysis of monitoring results of the White Sea harp seal population] // Rybnoe hozyajstvo. № 2. S. 67–72.
- Korzhev V.A. 2014. Ocenka chislennosti i upravlenie promyslom grenlandskogo tyulena *Pagophilus groenlandicus* (*Phoca groenlandica* Erxleben, 1777) [Population estimates and fisheries management of the harp seal *Pagophilus groenlandicus* (*Phoca groenlandica* Erxleben, 1777)] // Trudy VNIRO. М.: Izd-vo VNIRO. Т. 151. С. 87–94.

Поступила в редакцию: 13.06.2017 г.

Принята к публикации: 20.10.2017 г.

## **Estimation of the White Sea Harp Seal Population Abundance by Biological Information Lack**

*V.A. Korzhev, V.B. Zabavnikov*

Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (FSBSI «PINRO»),  
Murmansk

The object of investigation is the White Sea harp seal population *Pagophilus groenlandicus*, and aim of work is comparison of her abundance dynamics estimation results by modified cohort and a stock-production models in present stage in the lack of sufficient biological information. This reason with using scanty available data from literature on the dynamics of the White Sea harp seal population (WSHSP) primary biological parameters the experimental calculations her abundance by both models with different combination of population parameters were made. Here as initial cohort model modified model of abundance dynamic WSHSP (MMAD) was used. MMAD by Joint Working Group (WG) of the International Council for the Exploration of the Sea (ICES) and the North Atlantic Fisheries Organization (NAFO) (now it is Joint WG of ICES/NAFO and North Atlantic Marine Mammals Commission (NAMMCO)) on harp and hooded seals (WGHARP) was devised. This paper cohort model includes usage of population reproduction parameters variable by years and ages: female pregnancy rate (birth rate) and age of sex maturation (maturation ogive). As production model the modified Stochastic Stock Reduction Analysis (SSRA) model based on Schaefer's logistic growth law was used.

**Key words:** harp seals *Pagophilus groenlandicus* population, the White Sea, simulation, population abundance, production model, maturation, pregnancy rate, total allowable catch, pups.