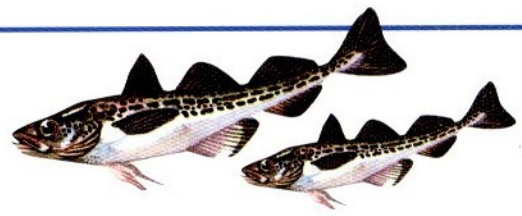




# МИНТАЙ И МАТЕМАТИКА



## Первый опыт применения математического моделирования к североберинговоморскому запасу минтая

Д.А. Васильев, А.И. Глубоков – ВНИРО

До конца 90-х годов прошлого столетия преобладала гипотеза о принадлежности минтая из Анадырского залива и прилегающих вод Корякского подводного нагорья к восточноберинговоморской суперпопуляции (Stepanenko, 1989; Фадеев, 1991; Шунтов и др., 1993). В последнее десятилетие на основании результатов многолетних исследований распределения, миграций, воспроизводства, фенетической и генетической структур скоплений минтая Берингова моря было убедительно доказано существование самостоятельной североберинговоморской, или наваринской, популяции минтая (Варкентин, 1998; Глубоков, Котенев, 1999; Датский и др., 1999; Балыкин, Варкентин, 2002; Глубоков, 2003). Признание статуса независимой от восточноберинговоморского минтая наваринской популяции позволяет применить к ней математические методы прогнозирования.

Оценка состояния наваринского запаса минтая проводилась с использованием данных по возрастному составу уловов; уловам на единицу усилия (CPUE) для среднетоннажного и крупнотоннажного флотов, а также результатов летних и осенних съемок младших возрастных групп (0+, 1+ и 2+). Оценки численности младших возрастных групп по результатам съемок были включены в процедуру оценки запаса двумя путями: 1) в качестве индекса численности с возрастной структурой; 2) оценки численности 0-группы использовались в качестве относительного индекса биомассы нерестового запаса (SSB).

Для оценки состояния запаса минтая была использована когортная сепарабельная модель группы ISVPA (Васильев Д.А. Когортные модели и анализ промысловых биоресурсов при дефиците информационного обеспечения. М.: ВНИРО, 2001. 110 с.; Vasilyev D. 2003. Is it possible to diminish the impact of unaccounted time trends in age

structured surveys' catchability on the results of stock assessment by means of separable cohort models? ICES CM 2003/X:03. 14 p.; Vasilyev D. 2004. Winsorization: does it help in cohort models? ICES CM 2004/K:45. 19 p.; Vasilyev D. 2004. Description of the ISVPA (version 2004.3). Working paper to ICES Mackerel, Horse Mackerel, Sardine and Anchovy Stock Assessment Working Group (Copenhagen, 2004)).

Отличительной чертой моделей этой группы является целенаправленное использование принципов робастной статистики в процедурах оценивания параметров, что позволяет снизить влияние ошибок в данных на результаты анализа и полнее извлекать имеющуюся в данных информацию об исследуемой системе запас – промысел. Создание современной теории робастного оценивания относится к 50-м годам XX в., хотя предпосылки к ее созданию появились значительно раньше и были связаны с работами в области теории вероятности, относящимися к исследованию поведения различных статистик и свойств получаемых с их помощью оценок. Появление интереса к робастности, под которой в широком смысле принято понимать меру независимости получаемых оценок от гипотез, заложенных в методику их получения, было связано с ростом понимания того, что в большинстве случаев такие часто используемые в статистике предположения, как, например, нормальность распределения и независимость наблюдений, являются лишь весьма грубой идеализацией реальных ситуаций. При этом оказывается, что статистики и методы их оценивания, идеальные для «классических» распределений, для реальных данных со значительной шумовой компонентой зачастую дают совершенно неприемлемые результаты. Именно с такой ситуацией и приходится чаще всего сталкиваться в рыбохозяйственных исследованиях, для которых характерны значительная зашумленность

данных и нестационарность рассматриваемых процессов.

Несмотря на то, что теория робастного оценивания в настоящее время получила значительное развитие, использование ее на практике для оценивания параметров достаточно сложных моделей зачастую требует неформальных подходов, включая специальную математическую формулировку самой модели. Модели группы ISVPA наделены рядом свойств, которые позволяют им работать с «реальными» (т.е. значительно зашумленными) данными. Среди них – робастные целевые функции; возможность обеспечения несмещенности решения; независимость оцененной возрастной зависимости селективности промысла от выбора пользователем ее общей формы; использование различных опций относительно взаимной значимости гипотез о точности данных по возрастному составу уловов и устойчивости селективности промысла; возможность исключить влияние межгодовых колебаний коэффициентов улавливаемости съемок, вызванных различиями в условиях их проведения; и др. Модель успешно применяется для оценки ряда важных объектов отечественного и международного промысла.



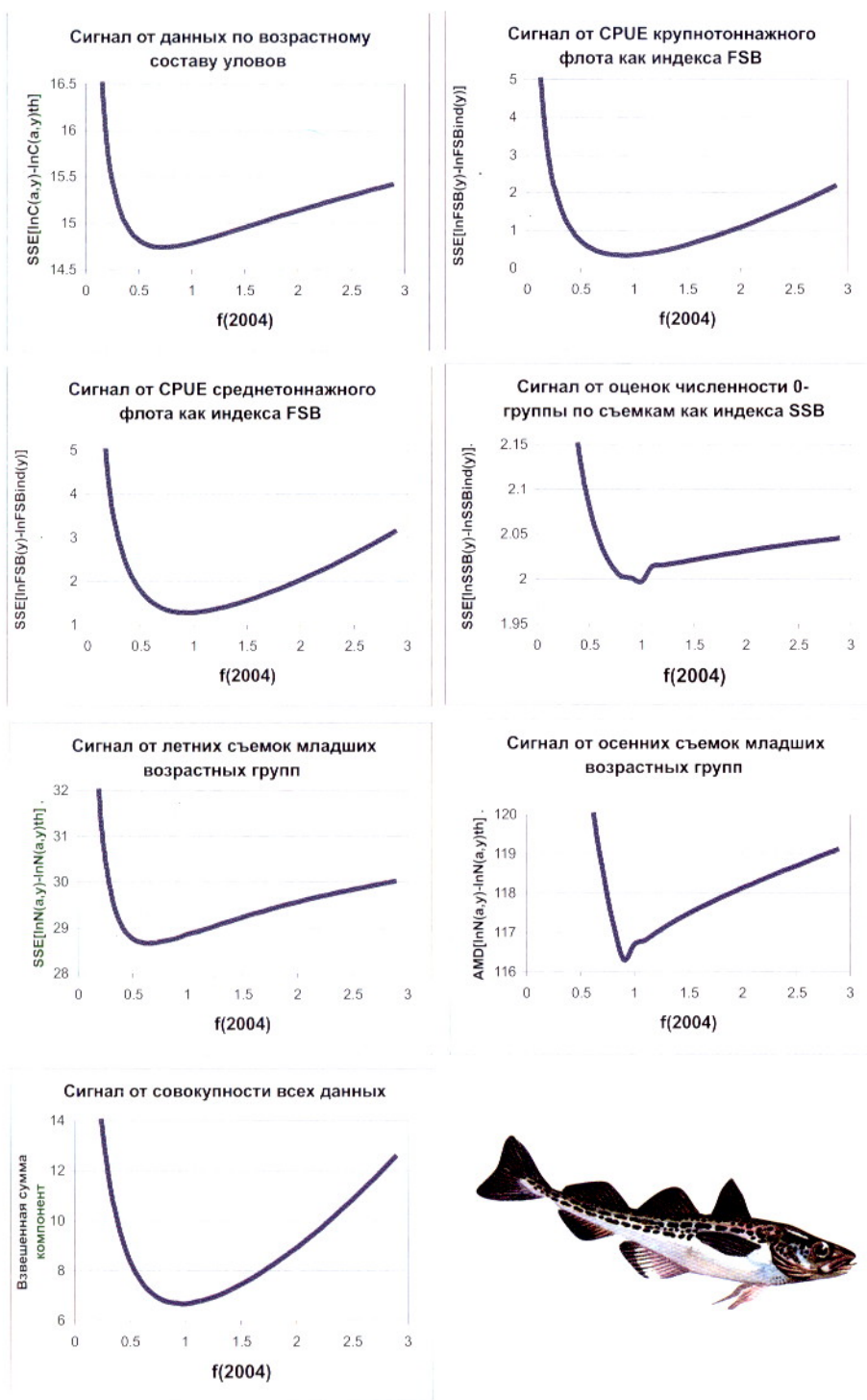


Рис. 1. Профили компонент целевой функции модели, соответствующих различным видам данных

Для оценки состояния наваринского запаса минтая была использована версия модели, допускающая наличие ошибок как в данных по возрастному составу уловов, так и в дополнительной информации (данные по уловам на единицу усилия различных флотов и данные съемок). Кроме того, специальная процедура оценки параметров модели обеспечивала *несмещенность* сепарабельного представления коэффициентов промысловой смертности, т.е. несмещенность представления в виде произведения фактора воз-

раста и фактора года. Компоненты целевой функции модели в зависимости от свойств и типа аппроксимируемых моделью данных представляли собой или сумму логарифмических остатков – для данных по возрастному составу уловов, по уловам на единицу усилия как индекса биомассы промыслового запаса (*FSB*) и результатам съемок 0-группы как индекса биомассы нерестового запаса (*SSB*), или абсолютное медианное отклонение (*AMD*), представляющее собой медиану распределения абсолютных отклонений логарифмических остатков от их медианного значения, – для результатов съемок младших возрастных групп.

С целью сокращения прилова молоди в январе 2000 г. в Западно-Беринговоморской зоне была восстановлена промысловая мера минтая 30 см, а в декабре она была увеличена до 35 см. Имевшие место изменения в возрастной селективности промысла были учтены в модели посредством оценки двух зависимостей селективности от возраста для соответствующих исторических периодов.

На рис. 1 представлены профили компонент целевой функции модели, минимумы которых отражают наиболее вероятную оценку фактора усилия *f* (2004) в сепарабельном представлении коэффициентов промысловой смертности 2004 г. (терминальный год расчетов), полученные при использовании каждого из видов информации по отдельности, а также оценку, получаемую при использовании совокупности всей доступной информации. Во избежание неверного понимания следует отметить, что фактор усилия является параметром модели, численно не равным мгновенному коэффициенту промысловой смертности, а пересчитываемым в него с использованием оцененных в рамках модели зависящих от возраста оценок селективности промысла.

Как видно из рис. 1, практически все виды использованных данных несут сходную информацию о текущем состоянии запаса, хотя, естественно, имеет место определенный, хотя и достаточно умеренный разброс между оценками запаса, полученными на основе каждого из видов информации, взятого в отдельности. Интересно отметить разумный сигнал от оценок численности 0-группы по результатам съемок, использованных в модели в качестве относительного индекса биомассы нерестового запаса, что можно рассматривать в качестве косвенного свидетельства в пользу наличия связи между биомассой нерестового запаса и численностью пополнения для наваринского запаса минтая.

При использовании всей совокупности доступной информации неопределенность в оценках биомассы запаса, оцененная с использованием процедуры условного параметрического бутстрепа, оказывается умеренной (рис. 2), что говорит о достаточной надежности оценок. Полученные по модели оценки зависимости относительной селективности промысла от возраста *S(a)* (рис. 3) подтверждают существенное снижение пресса промысла на младшие возрастные группы в результате принятых в 2001 г. изменений правил рыболовства.

Полученные с помощью когортных сепарабельных моделей группы *ISVPA* оценки биомассы довольно близки к оценкам межгодовой динамики ее величины, полученной на основе данных прямых учетных донных



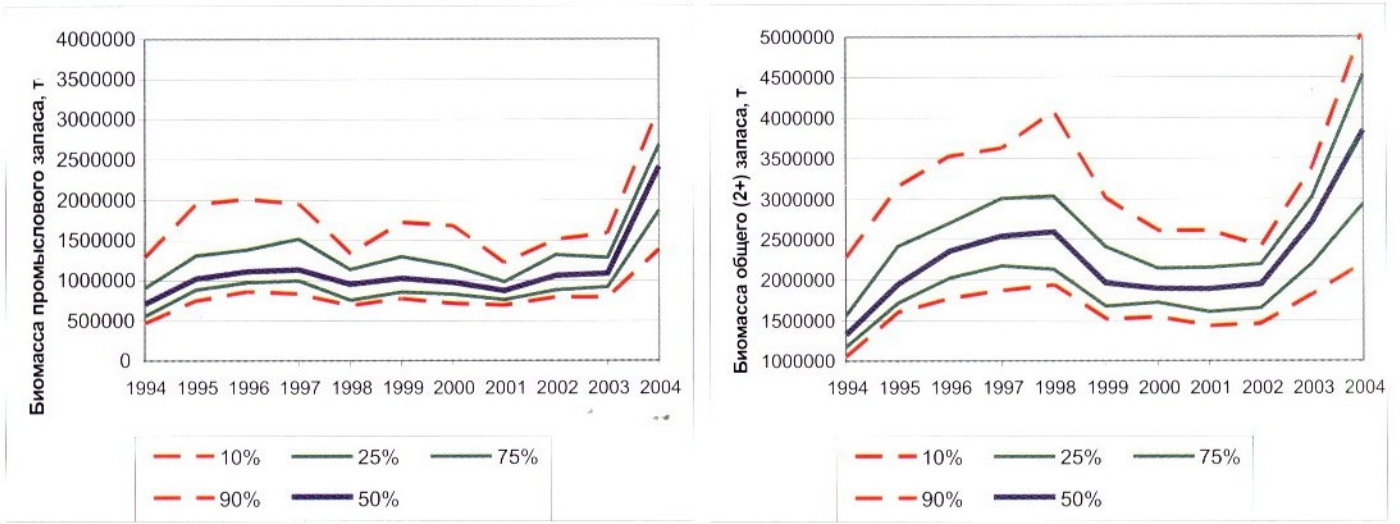


Рис. 2. Процентили бутстреп-распределения оценок биомассы общего и промыслового запасов

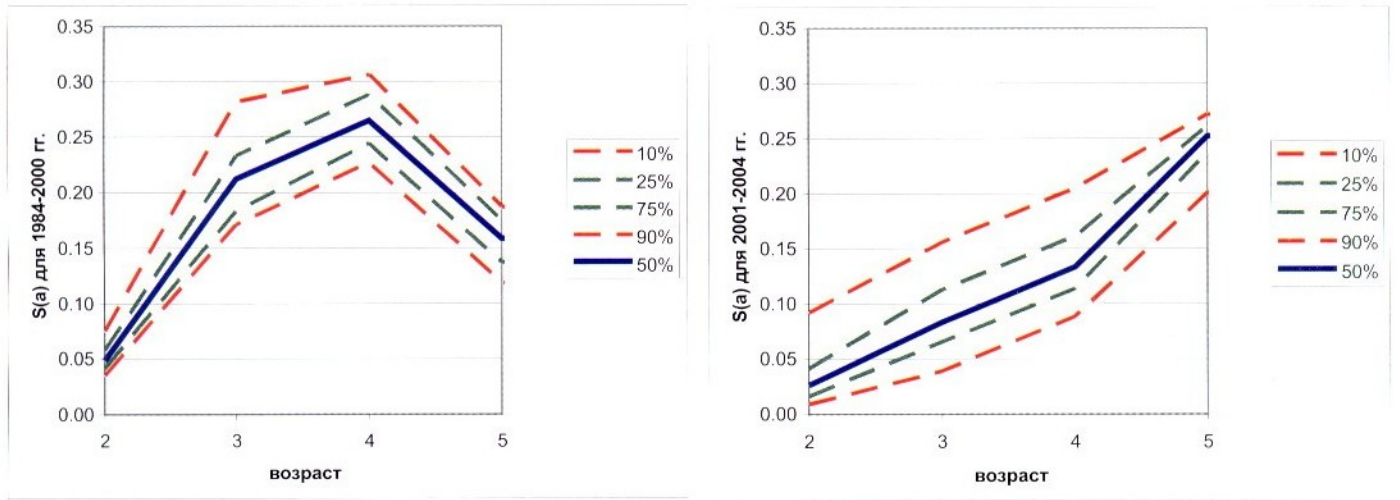


Рис. 3. Процентили бутстреп-распределения оценок относительной (нормированной по сумме на единицу) селективности промысла. Представлены оценки для младших возрастных групп

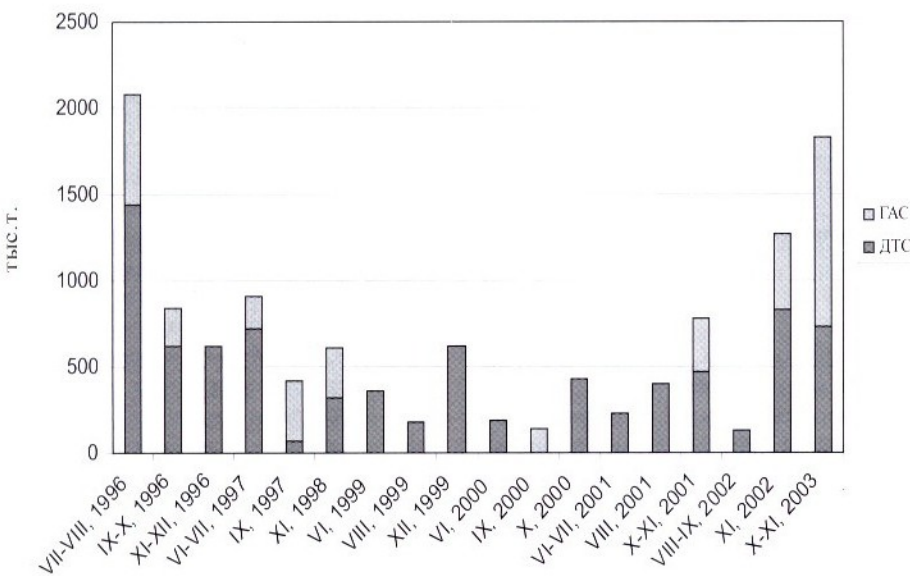


Рис. 4. Биомасса минтая в Наваринском районе Берингова моря (по данным донных траловых съемок (ДТС) и гидроакустических съемок (ГАС)) на акватории площадью 14658 миль<sup>2</sup>

траловых и эхоинтеграционных съемок (рис. 4). Различия же связаны с тем, что полученные в результате математического моделирования оценки представляют собой результат совместного анализа сигналов о состоянии запаса, содержащихся во всех использованных в модели видах информации (в возрастном составе уловов, уловах на усилии крупнотоннажного и среднетоннажного флотов и в результатах съемок).

Тем не менее, почти идеальное совпадение кривых оценок биомассы, полученных с помощью когортной модели, с результатами прямого учета, а также когерентность сигналов о состоянии запаса, содержащихся практически во всех видах наблюдений и в данных по возрастному составу уловов, говорят о незначительном влиянии миграций минтая из других районов Берингова моря на формирование численности поколений северо-берингоморского минтая. Это может рассматриваться в качестве еще одного доказательства того, что наваринский минтай является самостоятельной единицей запаса.