

УДК 639.2.053.8:639.223.5

**К вопросу о методологии прогнозирования
запасов и стратегии промысла минтая***O.A. Булатов*

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва
E-mail: obulatov@vniro.ru

Минтай (*Theragra chalcogramma*) является самым важным объектом отечественного рыболовства, играя исключительную роль как объект экспорта. В статье анализируется современная методология оценки запасов и прогнозирования ОДУ. Автором показано, что прямые учётные работы имеют источники неопределённости, оказывающие существенное влияние на «скачки» биомассы. В смежные годы обнаружилась большая вариабельность оценок: по данным ихтиоплактонных съёмок отмечено увеличение нерестовой биомассы на 46%, по траловым съёмкам рост биомассы достигал 64%, по акустическим съёмкам наблюдалось снижение на 32%. Поэтому полученные данные могут использоваться в качестве настроочных параметров при математическом моделировании запаса и прогноза биомассы. При помощи корреляционного анализа была проверена связь «родители—потомство» в зал. Аляска, Беринговом и Охотском морях. Оказалось, что коэффициент корреляции имел низкие значения: от $-0,18$ до $+0,38$. Установлено, что связь «родители—потомство» статистически недостоверна, поэтому необходимо исключить её из расчётов прогноза биомассы с различной заблаговременностью. Высокий уровень тесноты связей выявлен между средней температурой воды и численностью рыб в возрасте 1 и 5 лет. Положительная связь также обнаружена между солнечной активностью и концентрацией хлорофилла *a*, а также между солнечной активностью и биомассой минтая. Сравнение оценок общей биомассы минтая в Беринговом и Охотском морях, выполненное по данным двух методов — когортной сепарабельной модели TISVPA и статистической когортной сепарабельной модели Synthesis показало, что тренды их изменения много лет совпадали, за исключением 2010–2014 гг. Анализ динамики биомассы показал, что в основных районах отечественного рыболовства минтая его запасы обладали устойчивостью и быстрым восстановлением после снижения. Данное обстоятельство позволяет отказаться от применения предосторожного подхода при оценке ОДУ. Методически более правильно использование концепцию максимального устойчивого улова (MSY).

Ключевые слова: минтай, стратегия, оценка запасов, корреляционный анализ, «предосторожный подход», математическое моделирование, норма промыслового изъятия, ОДУ, северная часть Охотского моря, Наваринский район Берингова моря, тихоокеанские воды Камчатки, побережье Северных Курильских островов.

ВВЕДЕНИЕ

Минтай (*Theragra chalcogramma*) многие годы является наиболее важным объектом мирового рыболовства. В конце 1980-х гг. его вылов достиг исторического максимума, прибли-

зившись к отметке 7 млн т. В дальнейшем, в начале XXI в. его вылов сократился, стабилизировавшись на уровне 2,8 млн т. После достижения в 2009 г. минимума в 2,5 млн т, вылов стал быстро возрастать и в 2012 г. достиг

3,3 млн т, увеличившись за 3 года на 772 тыс. т. Относительно стабильные уловы мантай позволили этому объекту промысла занять вторую строчку «мирового рейтинга» (табл. 1). Бесспорным «лидером» мирового рыболовства, несмотря на нестабильность годовых уловов, является перуанский анчоус, вылов которого в среднем за этот период достиг 7,5 млн т. Кроме указанных видов, в пятерку также вошли: полосатый тунец, сельдь атлантическая и скумбрия восточная [FAO, 2014]. Причём средние уловы полосатого тунца, имеющие тенденцию устойчивого роста, отличаются от вылова мантая уже не столь значительно, как ранее.

В истории современной России мантай играет исключительно важную роль, являясь объектом № 1 отечественного рыболовства и экспорта [Синяков, 2015]. И сейчас трудно представить себе, что в 1960–1970-е гг. мантай считался непищевым объектом промысла.

Динамика вылова мантая характеризовалась устойчивым снижением вылова с 2,4 млн т в 1996 г. до 0,8 млн т в 2002 г. С 2005 г. отмечалась устойчивая тенденция роста, которая привела к удвоению объёмов вылова в 2012 г. Однако в 2014 г. произошло некоторое снижение уловов (рис. 1).

Таблица 1. Уловы самых распространенных промысловых видов рыб Мирового рыболовства в 2002–2012 гг. [по данным FAO, 2012, 2014], тыс. т

Вид	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Средний
Перуанский анчоус	9703	6204	10679	10215	7007	7611	7419	6910	4206	8320	4693	7542
Мантай	2655	2887	2693	2791	2860	2908	2649	2499	2828	3207	3271	2841
Полосатый тунец	2030	2385	2429	2387	2531	2368	2454	2670	2634	2645	2795	2484
Сельдь атлантическая	1872	2161	2067	2306	2210	2367	2479	2518	2304	1780	1850	2174
Скумбрия восточная	1493	1870	1953	1985	1970	1714	1900	1641	1635	1716	1581	1769

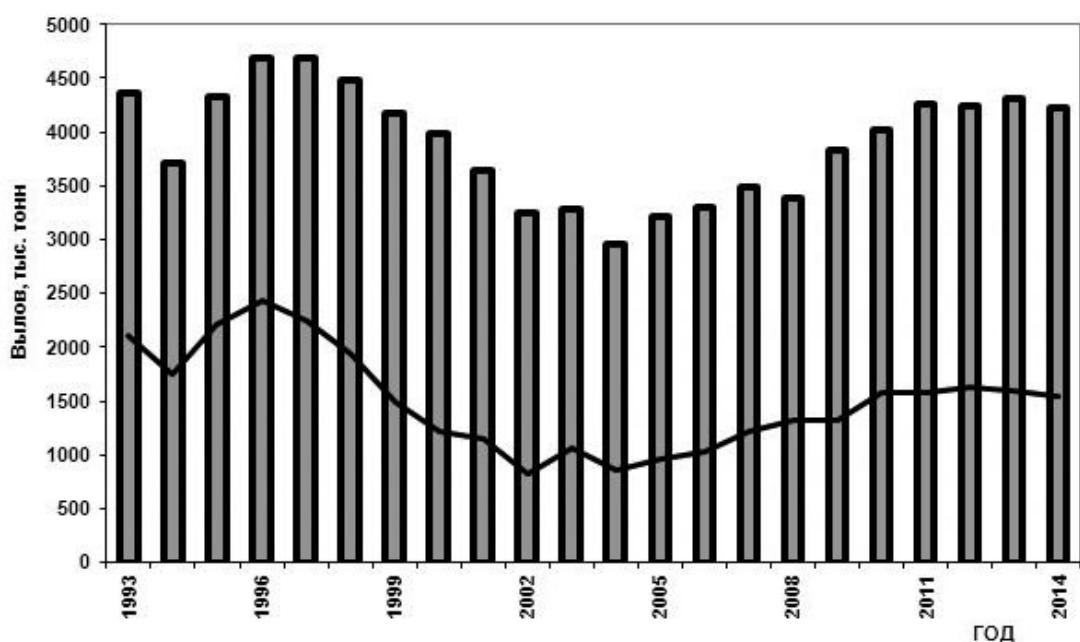


Рис. 1. Динамика вылова мантая (линия) и общего вылова Россией в 1993–2014 гг., тыс. т

Таблица 2. Национальные и мировой уловы в 2003–2012 гг. [FAO, 2012, 2014], тыс. т

Страна	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Китай	14 328	14 465	14 589	14 631	14 659	14 791	14 919	15 414	15 766	16 167
Индонезия	4 584	4 605	4 684	4 794	5 034	4 995	5 099	5 374	5 701	5 813
США	4 939	4 960	4 893	4 852	4 768	4 350	4 222	4 426	5 153	5 128
Перу	6 086	9 604	9 389	7 017	7 210	7 395	6 914	4 261	8 248	4 841
Россия	3 281	2 941	3 197	3 284	3 475	3 384	3 826	4 070	4 255	4 331
Япония	4 688	4 337	4 334	4 337	4 298	4 311	4 104	4 085	3 775	3 644
Другие страны	50 381	51 848	51 406	51 323	51 348	50 908	51 035	51 456	50 836	51 412
Мировой вылов	88 287	92 760	92 492	90 238	90 792	90 134	90 119	89 086	93 734	91 336

Увеличение вылова минтая, тихоокеанских лососей и сельди, а также баренцевоморской трески обеспечило России в 2011–2012 гг. рост вылова более чем на 1 млн т по сравнению с уловами 2003–2006 гг. Это позволило нашей стране подняться в мировом рейтинге с 8-го на 5-е место (табл. 2), что имеет немаловажный политический аспект.

Современный отечественный промысел минтая базируется на строгой научной основе, состоящей из нескольких ключевых элементов: оценки запасов в год наблюдения, прогнозирования запасов с заблаговременностью 1–2 года и оценки общего допустимого улова (ОДУ).

Настоящая статья посвящена анализу современной методологии оценки запасов и прогнозирования ОДУ. Автор поставил цель выявить слабые и сильные стороны различных методов, применяющихся при оценке запасов, а также выяснить, насколько обоснована стратегия управления промыслом.

Обсуждение

Несмотря на то, что впервые принципы регулирования промысла, основанные на изучении взаимодействия системы «запас—промысел», были сформулированы ещё в начале прошлого века Ф.И. Барановым [1918], их актуальность до сих пор не утрачена. «Выкладки» Ф.И. Баранова в дальнейшем стали основой для разработки целого класса математических моделей. Популярными в последние годы стали взгляды некоторых учёных, согласно которым влияние промысла на запас абсолютизируется. Превалирование такой точки зрения может привести к тому, что в глазах общественности рыбный промысел может восприни-

маться как хищничество, отрицательно влияющее на экосистему, и представляющий собой нецивилизованную форму хозяйственной деятельности. Ответить на вопрос, насколько промысел влияет на запасы, можно в том случае, если реальные масштабы промысла, включая незаконный, нерегистрируемый и неконтролируемый (ННН) промысел, соотнести с реальными оценками запасов, основанными на применении методов, которые исключают или минимизируют субъективность.

В пользу преувеличенного влияния промысла на запасы свидетельствуют примеры, связанные с продолжительным запретом промысла сахалино-хоккайдской сельди и минтая открытой части Берингова моря. Данные меры не принесли ожидаемого результата в течение достаточно продолжительного ряда лет, что свидетельствует о том, что, кроме воздействия промысла на запасы, существуют иные факторы, влияющие на их уровень. С другой стороны, достаточно примеров, когда численность и биомасса существенно недоиспользующихся видов сокращается, несмотря на отсутствие значительного пресса промысла. Указанные примеры ярко демонстрируют существование иных систем, кроме промысла, которые регулируют численность рыб, оказывая мощное воздействие не только на эксплуатируемые виды, но и на всю ихтиофауну в целом. Следовательно, кроме системы «запас—промысел» существуют другие системы, такие как «организм—среда», «организм—организмы», степень взаимовоздействия которых в современных представлениях учёных, занимающихся регулированием промысла, весьма принижена.

О преувеличенном и не в полной мере соответствующем действительности воздействии промысла на запасы промысловых рыб и беспозвоночных в морях Дальнего Востока свидетельствуют результаты исследований, выполненных дальневосточными учёными в 1980–1990-е гг. Многочисленные работы В.П. Шунтова с соавторами [Шунтов и др., 1993, 1995, 1997, 2003] убедительно показали, что, например, потребление минтая хищниками в дальневосточных морях было столь велико, что существенно превышало воздействие промысла.

К аналогичным выводам пришли и американские исследователи [Bax, Levastu, 1990], показавшие, что в 1980-е гг. потребление хищниками минтая в восточной части Берингова моря составляло 11 млн т, тогда как промыслом изымалось в 11 раз меньше — 1 млн т. Таким образом, полученные научные данные убедительно свидетельствуют о том, что влияние промысла на запасы сильно преувеличено и зачастую не соответствует действительности, и поэтому оно требует критического анализа и дальнейшего переосмысливания. Видимо, в действительности запасы минтая могут обеспечить пищей хищников только в том случае, если их значения будут превышать сегодняшнюю оценку. Следовательно, одной из основных проблем в современной методологии прогнозирования ОДУ и, соответственно, управлении промыслом являются реалистичные оценки запасов минтая, так как именно эти оценки являются отправной точкой дальнейших расчётов прогноза биомассы и ОДУ.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ

Оценка запасов рыб является важным количественным биологическим параметром, необходимым для ведения рационального промысла. Принципы рационального использования ресурсов предполагают пропорциональность пресса промысла запасу. Известно [Кадильников, 2001], что абсолютное значение вылова не может являться объективным показателем состояния и изменчивости запаса, так как связано с интенсивностью лова: продолжительностью и количеством промысловых операций. Однако, некоторые исследователи, при анализе влияния промысла на состояние запасов, призывают значение этого момента.

Реальность оценок запасов, основанных на полученной научной информации с использованием современных методов исследований, является принципиально важным моментом, так как даёт возможность определять степень воздействия промысла на эксплуатируемый запас и, регулируя интенсивность, управлять процессом промысла. Как можно установить реальность полученных оценок? Полученные оценки биомассы можно сравнить с фактическим выловом, выеданием хищниками и т.д. Прежде чем оценить запас или выбрать более объективную цифру, необходимо проанализировать сравнительную точность методов, их «чувствительность» и определить границы их применения.

Современная система мониторинга запасов минтая дальневосточных морей, сложившаяся в течение нескольких десятилетий, включает в себя следующие методы: ихтиопланктонный, гидроакустический, траловый и метод математического моделирования. Перечисленные методы в значительной степени применяются к различным единицам запасов, а в отдельных случаях, как, например, для минтая северной и восточной частей Охотского моря (Камчатско-Курильская, Западно-Камчатская и Северо-Охотоморская подзоны), применяются без исключения все методы (табл. 3).

Ихтиопланктонный метод оценки запасов минтая широко применялся в 1980-е гг. В настоящее время съёмки регулярно выполняются лишь в Охотском море и тихоокеанских водах полуострова Камчатка и Северных Курильских островов [Смирнов и др., 2006; Овсянников, 2011]. Сравнительный анализ различных подходов, применяемых при обработке данных ихтиопланктонных съёмок, выполненный автором [Булатов, 2006] для западной части Берингова моря, показал значительный разброс полученных оценок нерестового запаса (табл. 4). Использование данных исходной численности, представленных в таблице, наряду с одинаковыми параметрами, характеризующими нерестовый запас (плодовитость, соотношение полов, масса нерестовых осо-бей), позволило установить, насколько различается конечный результат.

Методика Гензена [Hensen, 1887], не учитывающая смертность икры и динамику нерес-

Таблица 3. Методы оценки запасов минтая используемые в настоящее время в различных районах

Зона/подзона	Метод			
	ихтиопланктонный	гидроакустический	траповый	моделирования
Западно-Берингоморская зона	—	+	+	+
Карагинская подзона	—	—	+	+
Петропавловско-Командорская подзона	+	—	—	+
Северо-Курильская зона	+	—	—	+
Южно-Курильская зона	+	—	+	—
Северо-Охотоморская подзона	+	+	+	+
Западно-Камчатская подзона	+	+	+	+
Камчатско-Курильская подзона	+	+	+	+
Восточно-Сахалинская подзона	+	—	+	+
подзона Приморье	—	—	+	—
Западно-Сахалинская подзона	—	—	+	—

Таблица 4. Оценки нерестового запаса минтая в западной части Берингова моря, полученные с применением ихтиопланктонного метода [из: Булатов, 2006]

Автор методики	Исходная численность икры, 10 x 11 шт.	Средняя плодовитость 1 самки, тыс. шт.	Численность самок, 10 x 8 шт.	Соотношение самки : самцы	Численность нерестовых особей, 10 x 8 шт.	Масса нерестовых особей, кг	Биомасса нерестового запаса, тыс. т
Hensen, 1887	235,8	193,4	1,2	1 : 1	2,4	0,52	125
Saville, 1964	469,1	193,4	2,4	1 : 1	4,8	0,52	250
Дехник, 1964	563,0	193,4	2,9	1 : 1	5,8	0,52	302
Соколовский, 1973	4658,5	193,4	24,1	1 : 1	48,2	0,52	2506
Дементьева, 1976	3684,1	193,4	19,0	1 : 1	38,0	0,52	1976

та, показала самые низкие результаты нерестового запаса — 125 тыс. т. Методика Сэвилла [Saville, 1964] учитывает суточную продукцию икры, допуская, что динамика интенсивности нереста подчиняется закону нормального распределения. Оценка численности продукцией икры определяется исходя из продолжительности периода развития икры на 1 стадии развития, которая затем экстраполируется на продолжительность нерестового сезона. Данная методика позволила получить вдвое больший результат. Методика Т.В. Дехник [1964], основанная на допущении о том, что выживаемость икры пропорциональна соотношению её количества на каждой стадии развития, с успехом применённая автором для рыб Чёрного моря, показала несколько больший результат (+21%), чем предыдущая методика. Методика А.С. Соколовского [1973] основана на допущении, согласно которому, одна пара особей продуцирует то количество икры, которое приведёт к появлению другой пары особей через n лет (где n — возраст наступления массового полового созревания). Исключая критические периоды развития, автор в первом приближении допускает, что смертность является некой математической величиной, обратно пропорциональной возрасту, и не подвержена межгодовой изменчивости. Безусловно, предложенная методика является в некоторой степени условной, однако она не лишена здравого смысла. Оценка биомассы в этом случае оказалась на порядок выше, нежели чем у предыдущих — 2506 тыс. т. Методика Т.Ф. Дементьевой [1976], основанная на визуальном определении мёртвой/живой икры

тодика А.С. Соколовского [1973] основана на допущении, согласно которому, одна пара особей продуцирует то количество икры, которое приведёт к появлению другой пары особей через n лет (где n — возраст наступления массового полового созревания). Исключая критические периоды развития, автор в первом приближении допускает, что смертность является некой математической величиной, обратно пропорциональной возрасту, и не подвержена межгодовой изменчивости. Безусловно, предложенная методика является в некоторой степени условной, однако она не лишена здравого смысла. Оценка биомассы в этом случае оказалась на порядок выше, нежели чем у предыдущих — 2506 тыс. т. Методика Т.Ф. Дементьевой [1976], основанная на визуальном определении мёртвой/живой икры

при помощи учёта икринок, имеющих непрозрачную/прозрачную оболочку и аномально/нормально развивающихся эмбрионов, показала, что нерестовый запас минтая составил 1976 тыс. т.

Значительная разница между результатами, полученными по Гензену и Дементьевой, объясняется тем, что в первом случае игнорировался фактор смертности минтая в период раннего эмбриогенеза, хотя различные исследователи показали (табл. 5), что количественно смертность весьма высока [Балыкин, 1993; Bulatov, 1989a, 1989b; по данным О.Ф. Золотова]. Следовательно, игнорирование фактора смертности привело к существенному занижению оценок биомассы. Сопоставление оценок запасов, полученных с использованием разных подходов, с данными фактического вылова интакта и оценка его биомассы в указанном районе позволили установить их сравнительную точность. Согласно данным Н.С. Фадеева и В. Веспстада [2001], в 1984 г. в указанном районе, где по данным ихтиопланктонных исследований выполнялась оценка запасов минтая, было выловлено 252 тыс. т минтая, что превысило или было близко к оценке запасов, полученной по первым 3 подходам. Следовательно, они не могут быть признаны достаточно объективными. Из оставшихся методик наиболее приемлемой, видимо, следует считать методику Т.Ф. Дементьевой, которая основана на визуальном, а не гипотетическом определении смертности. Однако, в случае отсутствия эмпирических данных по смертности, для оценки запасов минтая в первом приближении можно, видимо, применять и методику А.С. Соколовского. Как показали дальнейшие исследования [Ба-

лыкин, Максименко, 1990], основанные на оценке запасов по методу математического моделирования, именно в середине 1980-х гг. в данном районе был отмечен исторический максимум запасов — 3 млн т.

Кроме указанных методик оценки нерестового запаса, известны подходы Н.С. Фадеева [1999] и Л.А. Лисовенко [2000], применявшиеся для охотоморского минтая. В связи с тем, что первая методика не учитывает смертность и по существу является модифицированной версией метода Гензена, расчёты приводят к заниженным оценкам запасов. Игнорирование фактора смертности в расчётах ставит конечный результат в зависимость от сроков выполнения работ, что убедительно доказал Кузнецов с соавторами [2008]. К тому же практика показала, что в случае если исследования выполнялись в начальной фазе нереста, когда в уловах преобладала икра на I, II стадиях развития, ошибка существенно снижалась.

Методика Лисовенко [2000] учитывает элиминацию икры, что позволило автору получить оценку нерестового запаса в 2 раза выше [С. 94, табл. 2], чем без учёта смертности. Следовательно, при прочих равных условиях (ихтиопланктонные съёмки выполняются в максимум нереста, смертность в расчётах не учитывается) гарантировано занижение оценок нерестового запаса примерно вдвое. Применимые в настоящее время ихтиопланктонные исследования в Петропавловско-Командорской и Восточно-Сахалинской подзонах, а также в Южно-Курильской зоне основаны на методике Сэвилла [Saville, 1964]. Данный подход существенно точнее, чем метод Фадеева, но и он приводит к заниженным оценкам запасов.

Таблица 5. Выживаемость икры минтая на различных стадиях развития, по отношению к исходной численности, %

Стадия развития	Берингово море		Охотское море	
	Восточная часть	Западная часть	Восточная часть	Восточная часть
1	100,0	100,0	100,0	100,0
2	50,0	54,8	67,7	67,7
3	39,1	27,7	38,3	38,3
4	24,8	3,6	18,6	18,6
Мелкие личинки (май)	8,4	—	—	—
Крупные личинки (июнь)	1,0	—	—	—

Таким образом, используемые в настоящее время подходы с применением ихтиопланктонного метода оценки запасов минтая уязвимы для критики и требуют дальнейшего совершенствования. С учётом источников неопределённости их применение в оценке запасов возможно в лишь качестве настроочных параметров при математическом моделировании.

При выполнении прямых учётных работ широко применяется **метод траловых съёмок**. Одной из самых распространённых методических неточностей является игнорирование коэффициентов уловистости. Американские и японские исследователи, изучавшие межгодовую изменчивость запасов минтая Берингова моря [Wespestad, Traynor, 1988; Sasaki, 1989, 1990], не применяли поправку на уловистость, допуская её равной 100%, или 1,0. И вызвано это тем, что американскими учёными оценка запасов выполняется не по данным учётных работ, а с использованием математических моделей, в которых полученные оценки запасов являются индексами численности и вводятся в расчёты как настроочные параметры. Сравнение результатов траловых работ, выполненных японскими и американским учёными в 1980-е гг. на шельфе восточной части Берингова моря, показало, что в среднем японские уловы были в четыре раза выше, чем американские [Wespestad, Traynor, 1988], несмотря на то что уловистость в том и другом случае допускалась равной 1,0. Анализ сравнительной уловистости японских и отечественных донных тралов, применяемых у побережья Северных Курильских о-вов, на задебистых грунтах показал, что отечественными тралами улов на 1 ч траления минтая оказался в семь раз меньше [Тупоногов и др., 2006]. Все эти данные говорят о том, что игнорирование поправочного коэффициента на уловистость — верный путь к существенному занижению оценок промысловой биомассы.

Результаты подводных исследований, экспериментальных и теоретических работ [Трещев, 1974; Честной, 1977; Заферман, Серебров, 1985] показали, что горизонтальная уловистость отсаживающих орудий лова составляет для рыб разного и скоростных параметров, близких минтая, — 30%, или 0,3. В практике рыбохозяйственных исследований наиболее распространённым коэффициентом, применя-

мым для оценки запасов минтая, является коэффициент 0,4 [Шунтов и др., 1993].

Если этот параметр надёжно зарекомендовал себя для пелагических тралений и ни у кого не вызывает сомнений, то при выполнении донных тралений, при меньшей скорости лова и небольшом вертикальном раскрытии, предложенное значение поправочного коэффициента представляется недостаточным.

Автором в летний период 1985 г. при проведении стандартной донной траловой съёмки на обширном шельфе восточной части Берингова моря были выполнены работы, целью которых было определение доли минтая, которая оказалась необловленной. Суть данного подхода проста: донные траления ($n = 363$) сопровождались работой эхолота и прибора контроля. На эхолонте отмечались начало и завершение постановки траления, а также вертикальная граница верхней подборы трала, которая зачастую рассекала скопление минтая на две части: нижнюю, находящуюся в зоне действия трала, и верхнюю, вне зоны действия трала. Затем в пределах установленных границ площадным способом определялось соотношение площади записей (или их части) минтая, попавших в зону действия трала, с площадью всех скоплений минтая (от поверхности до дна). Оказалось, что в зону действия трала в среднем попадало 22% площади записей косяков и/или скоплений, принадлежащих минтам, тогда как остальные 78% остались неохваченными. И это без учёта тех рыб, которые избежали воздействия трала и вышли из зоны его действия.

Аналогичные работы проводились автором в летний период 1982 г. также в северо-западной части Берингова моря ($n = 116$). В данном случае коэффициент оказался выше — 0,33, что связано, по-видимому, с большим количеством солнечных дней. В том и в другом случае траления выполнялись исключительно в светлое время суток по одинаковым методикам.

Кроме учёта уловистости, необходимо выполнять исследования в стандартные сроки и по стандартным методикам. Какие же сроки наиболее приемлемы для выполнения траловых съёмок? Данный вопрос в значительной степени зависит от особенностей биологии рыб. В осенне-зимний период скопления минтая локализованы на небольшой площади и уловы на

часовое траление могут достигать десятков тонн, тогда как в летний период концентрация рыб существенно снижается и улов на стандартное усилие тоже снижается. Отсюда возникает ощущение, что в летний период рыбы меньше и такие съёмы не репрезентативны. Для того чтобы ответить на вопрос о том, какой из сезонов более предпочтителен, сравним данные по оценке запасов минтая, полученные в восточной части Берингова моря при выполнении донных траловых съёмок по стандартной методике. Из табл. 6 и 7 видно, что доверительный интервал средних уловов и рассчитанных значений биомассы имел большую вариабельность в осенний период и существенно меньшую в летний сезон. Соотношение максимума/минимума в осенний период составило 3:1, а в летний период — 1,5:1. Следует отметить, что распределение скоплений минтая в

летний период обеспечило меньшую изменчивость средних уловов и, соответственно, доверительный интервал оценок запасов. Таким образом, сроки выполнения съёмки, учитывающие особенности распределения минтая, могут оказывать существенное влияние на конечный результат — значения биомассы, т.е также являться источниками неопределённости.

Кроме учёта коэффициента уловистости, времени суток, сезона выполнения работ, немаловажную роль играет настройка промыслового вооружения трала. При значительной длине поводцов у донного трала можно получить уловы, в которых не будет присутствовать донная фауна. А если вместо мягкого грунтропа использовать бобинцы, можно также получить искажённое представление о запасах донных и придонных рыб и беспозвоночных, и тогда возможны ситуации, когда биомасса в смежные го-

Таблица 6. Оценка биомассы минтая по данным стандартной траловой съемки ($n = 316$), выполненной в восточной части Берингова моря в осенний период ($p = 0,95$; сентябрь—ноябрь 1981 г.)

Подрайон	Средний улов, т/час траления	Доверительный интервал	Средняя биомасса, тыс. т	Доверительный интервал, тыс. т
1	4,04	2,49–5,60	2578	1586–3569
2	3,49	0,95–6,04	1991	539–3443
3С	1,85	1,08–3,12	1125	484–1900
3Ю	4,13	2,76–5,50	2313	1546–3079
4С	0,09	0,03–0,15	58	31–95
4Ю	0,04	0,02–0,07	30	11–48
5	0,42	0,00–0,84	302	143–602
В целом			8397	4340–12736

Таблица 7. Оценка биомассы минтая по данным стандартной траловой съемки ($n = 363$), выполненной в восточной части Берингова моря в летний период ($p = 0,95$; июнь—август 1985 г.)

Подрайон	Средний улов, т/час траления	Доверительный интервал	Средняя биомасса, тыс. т	Доверительный интервал, тыс. т
1	2,54	2,01–3,07	1564	1236–1892
2	0,50	0,38–0,62	291	221–361
3С	3,10	2,47–3,73	1864	1486–2242
3Ю	0,11	0,07–0,15	78	49–107
4С	1,36	0,99–1,72	825	604–1046
4Ю	2,81	2,48–3,14	1549	1364–1731
5	1,35	0,80–1,90	579	343–814
В целом			6750	5303–8193

ды будет изменяться, например, в 2–3 раза. Таким образом, основными источниками неопределённости, влияющими на конечный результат, являются: особенности сезонного распределения; значения коэффициента уловистости; настройка промыслового вооружения трала.

Гидроакустический метод. Весьма неоднозначны также результаты оценок запасов минтая, основанные в последние годы на данных гидроакустических съёмок. Нередко конечные цифры запасов оказываются существенно ниже, чем по результатам других методов. Например, данные ТИНРО-Центра в 2000 г. показали, что запас минтая Наваринского района оценивался в объёме 118 тыс. т, из них 54 тыс. т составляли пелагические скопления [Борец и др., 2002], тогда как фактический вылов минтая в 2000 г. в данном районе превысил 300 тыс. т [Фадеев, Веспестад, 2001]. На невысокую точность гидроакустического метода оценки минтая Охотского моря указывают также А.В. Смирнов с соавторами [2006].

Следует отметить, что специалисты ТИНРО-Центра постепенно совершенствуют методическую составляющую, что позволило им в 2011–2012 гг. получить оценку запасов минтая Наваринского района в десятки раз превышающую оценки 2000 и 2009 г. (рис. 2). В отличие от Берингова моря, в Охотском море оценки запасов минтая, выполненные гидроакустическим методом в весенний период, выглядят убедительно и на порядок превышают объёмы вылова.

В настоящее время не представляется возможным дать точное объяснение того, чем вы-

званы столько различающиеся оценки запасов. Известно, что в Охотском море эти работы осуществляются в преднерестовый сезон, тогда как в Беринговом море гидроакустические работы выполняются в нагульный период. Возможно, преднерестовые особи минтая лучше отражают акустический сигнал, и «сила цели», калибруемая при помощи контрольных тралений, имеет более точное значение. Видимо, именно это обстоятельство является источником неопределенности в оценках запасов минтая в Беринговом море.

Охотское море в течение 30 лет является полигоном для мониторинговых исследований минтая. В весенний период в течение практически всего этого периода синхронно выполняются ихтиопланктонные, акустические и траловые съёмки. Несомненный интерес представляет сравнение данных, полученных этими методами. Оказалось, что в смежные годы иногда отмечалось резкое изменение значений биомассы (табл. 8). Так, в 2011 г. по сравнению с 2010 г., по данным ихтиопланктонных съёмок, произошел «скакок» запасов на 2,7 млн т (46%); по данным траловых съёмок, резкий рост биомассы зафиксирован в 2014 г. по сравнению с 2013 г., он составил 5 млн т (62%). «Обвал» запасов зарегистрировался исследователями ТИНРО-Центра в 2011 г., когда, по данным акустической съёмки, учтённая биомасса сократилась на 3,7 млн т (32%). Обращает на себя внимание тот факт, что в 2011 г. по ихтиопланктонному методу оценки рост запасов составил 2,7 млн т, а по акустическому, напротив, произошло снижение на 3,7 млн т.

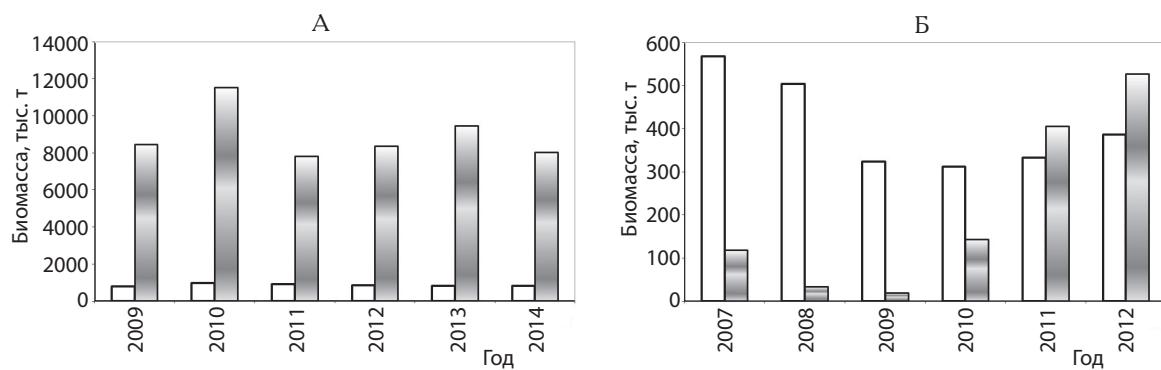


Рис. 2. Оценка запасов минтая Охотского (А) и Берингова (Б) морей гидроакустическим методом (заштриховано) и его вылов (по данным ТИНРО-Центра), тыс. т

Таблица 8. Биомасса минтая Охотского моря по данным учетных работ ТИИРО-Центра

Год проведения работ	Метод проведения учетных работ					
	ихтиопланктонный		траповый		акустический	
	тыс. т	изменение от предыдущего года, %	тыс. т	изменение от предыдущего года, %	тыс. т	изменение от предыдущего года, %
2010	5 840	—	15 488	—	11 534	—
2011	8 552	+46,4	13 335	-13,9	7 812	-32,3
2012	9 795	+14,5	11 268	-15,5	8 373	+7,2
2013	8 019	-18,1	8 053	-28,5	9 477	+13,2
2014	8 788	+9,6	13 077	+62,4	8 044	-15,1

Полученные разнотечения свидетельствуют о существенной изменчивости оценок биомассы, несмотря на применение стандартных методов исследований. Возрастная структура минтая такова, что если сопоставить соотношение «пополнение/остаток» в весовом выражении, то преобладание «остатка» будет очевидным, поэтому столь резкое изменение запасов в смежные годы вряд ли можно объяснить наличием урожайных/неурожайных поколений.

Резюмируя вышеизложенное, необходимо отметить, что современные методы прямых учётных работ обладают недостатками, которые могут вызывать различные источники неопределенности, поэтому, в силу их высокой вариабельности, они не всегда могут быть положены в основу расчётов для дальнейшего обоснования общепринятого допустимого улова.

Математическое моделирование. Широкое распространение методы математического моделирования получили не только для минтая, но и для многих других объектов мирового рыболовства: трески, пикши, сельди, палтуса, тунцов. Таким образом, в настоящее время оценка запасов рыб с использованием математических методов моделирования стала общепризнанной мировой практикой.

В связи с тем, что методы, применяемые в учётных съёмках минтая, имеют источники неопределенности, приводящие к резким «скачкам» оценок запасов в смежные годы, возникает необходимость в применении этих данных в качестве настроенных параметров при оценке запасов с использованием математических моделей. Данная мера является вынужденной,

однако она позволит сгладить потенциальные «скачки» прогнозируемой биомассы и ОДУ. В последние годы методы математического моделирования по оценке запасов минтая применяются в большей части районов (зон/подзон) экономической зоны Российской Федерации (табл. 9).

Модель «Синтез» (Synthesis) разработана специалистом «КамчатНИРО» О.И. Ильиным в 2002 г. [2014]. Данная модель представляет собой когортную модель с сепарабельным представлением промысловой смертности и привлечением дополнительной информации. «Модель учитывает специфику рыбопромысловой статистики, для её использования требуется наиболее доступный набор данных — возрастной состав уловов, масса, мгновенные коэффициенты естественной смертности и доля половозрелых рыб в зависимости от возраста. Оценки неизвестных параметров находятся из условия минимума некоторой целевой функции» [Ильин и др., 2014. С. 62]. Входными параметрами для данной модели являются:

уловы по возрастным группам;

масса особей по возрастам и годам промысла;

доля половозрелых особей минтая по возрастным группам и годам промысла;

мгновенные коэффициенты естественной смертности по возрастам.

Используется также дополнительная информация:

количество промысловых усилий;

данные по уловам на усилие;

результаты учётных работ (ихтиопланктонных, траповых и гидроакустических).

Таблица 9. Современные математические модели, применяемые для оценки запасов минтая

Зона/подзона	Модель	Автор метода
Западно-Беринговоморская зона	Synthesis (когортная), TISVPA (когортная)	Ильин и др., 2014; Васильев, 2001
Карагинская подзона	Synthesis (когортная)	Ильин и др., 2014
Петропавловско-Командорская подзона	Synthesis (когортная)	Ильин и др., 2014
Северо-Курильская зона	Synthesis (когортная)	Ильин и др., 2014
Камчатско-Курильская подзона	Synthesis (когортная) TISVPA (когортная)	Ильин и др., 2014; Васильев, 2001
Западно-Камчатская подзона	Synthesis (когортная) TISVPA (когортная)	Ильин и др., 2014; Васильев, 2001
Северо-Охотоморская подзона	Synthesis (когортная) TISVPA (когортная)	Ильин и др., 2014; Васильев, 2001
Восточно-Сахалинская подзона	КАФК (модель Лесли с фильтром Калмана)	Михеев, 2014

Одной из современных моделей, применяемых для оценки запасов минтая, прошедших международную экспертизу, и признанной очень ценной рабочей группой ИКЕС по экспертизе методов оценки арктических запасов [ICES WKARCT Rep., 2015], является разработанная во ВНИРО когортная модель TISVPA [Васильев, 2001, 2006]. Данная модель применялась для оценки баренцевоморских запасов трески и пикши, а также охотоморского и беринговоморского минтая. Модель включает в себя различные приёмы, помогающие работать с существенно зашумлёнными данными промысловой статистики. Среди них: робастные целевые функции, возможность целенаправленного обеспечения несмещённости решения, независимость оценок возрастной зависимости относительной селективности промысла от выбора пользователем её функциональной формы, применение различных опций относительно взаимной справедливости предположений о качестве данных по возрастному составу уловов и устойчивости селективных свойств промысла, возможность исключения влияния межгодовых изменений в коэффициентах улавливаемости съёмок на результаты анализа. Модель представляет коэффициенты промысловой смертности (точнее — коэффициенты эксплуатации) в виде произведения трёх параметров: $f(\text{year}) * s(\text{age}) * g(\text{cohort})$, что даёт возможность оценить в рамках когортной

модели дополнительный набор параметров, связанных с поколением.

Этот дополнительный набор параметров позволяет адаптировать традиционное сепарабельное представление промысловой смертности (как произведение зависящего от года компонента и компонента, зависящего от возрастной группы) к ситуациям, когда некоторые поколения могут иметь особенности в своём взаимодействии с промысловым флотом, вызванные, например, их различным пространственным распределением, большей притягательностью для промысла более многочисленных поколений или другими причинами. Кроме того, модель позволяет использовать две зависимости относительной селективности промысла от возраста для двух различных интервалов времени, что позволяет адаптировать модель к изменению в режиме рыболовства, имевшему место в 2001–2002 гг.

Ценность данной модели определяется тем, что она соответствует следующим положениям:

1. Оценка состояния запаса проводится с использованием сепарабельной интегральной модели с возрастной структурой, способной объединить информацию о состоянии запаса, содержащуюся во всех имеющихся источниках данных. Использование именно сепарабельной модели обусловлено её способностью получать информацию о состоянии запаса непосредственно из данных по возрастному составу улов-

вов, что обеспечивает получение однозначной оценки даже в случае отсутствия, низкого качества или исключительной противоречивости дополнительной информации (данных съёмок, уловов на единицу усилия и т.д.).

2. В рамках сепарабельного представления мгновенных коэффициентов промысловой смертности используется разбивка всего периода наблюдений на периоды с более или менее устойчивой возрастной структурой селективности промысла.

3. Для учёта особенностей взаимодействия различных поколений с промыслом рассматривается возможность применения расширенной параметризации мгновенных коэффициентов промысловой смертности в рамках их сепарабельного представления.

4. В рамках оценки параметров модели с целью обеспечения их защищённости от влияния содержащихся в них ошибок и искажений используются робастные статистические подходы, включая обеспечение несмещённости решения в заданном смысле.

5. С целью расширения информационной базы анализа к расчётом привлекаются индексы плотности запаса по подзонам с использованием современных подходов к стандартизации уловов на единицу усилия.

Информационной основой для оценки запасов минтая с использованием данной модели послужила научная информация, предоставленная КамчатНИРО и ТИНРО-Центром:

возрастной состав уловов за период 30 лет и более;

средняя масса по возрастным группам и годам;

средняя доля половозрелых рыб по возрастным группам и годам;

оценки мгновенного коэффициента естественной смертности по возрастам;

оценки продукции икры на полигоне у побережья Западной Камчатки начиная с 1986 г. (SSBind.1);

оценки нерестового запаса, SSB (в Западно-Камчатской и Камчатско-Курильской подзонах) начиная с 1986 г., полученные КамчатНИРО (SSBind.2);

оценки нерестового запаса минтая Охотского моря, SSB, начиная с 1984 г., полученные ТИНРО-Центром (SSBind.3);

уловы на усилие БАТМ, т/судосутки, начиная с 2001 г. (CPUE1);

уловы на усилие БАТМ, т/траление, начиная с 2003 г. (CPUE2);

стандартизованные уловы на усилие, т/судосутки, полученные по информации системы «Рыболовство» (CPUE3).

Для минтая, обитающего в Восточно-Сахалинской подзоне, специалистом СахНИРО А.А. Михеевым [2014] была использована обобщённая модель Лесли с фильтром Калмана. «Данная модель служит для оценки динамики локальных запасов в период промысла на основе временных рядов уловов при наличии миграционных потоков и неучтённого вылова» [Михеев, 2014. С. 96].

Таким образом, несмотря на то, что во всех перечисленных случаях применялось математическое моделирование, использовавшиеся в расчётах модели не были одинаковыми.

Интересно сравнить оценки запасов минтая, полученные разными методами. Особенно это важно для ключевых районов отечественного рыболовства — Охотского и Берингова морей. Результаты, основанные на данных промысловой статистики и научных данных за период 1980–2013 гг. с применением моделей «Синтез» и TISVPA, показали, что общая биомасса минтая в течение более чем 10-летнего периода находилась на высоком уровне — 9–10 млн т, и лишь после 1997 г. началось её стремительное сокращение с достижением минимума в 2001 г. — 3,6–4,9 млн т. Следует отметить, что среднее значение общей биомассы по модели «Синтез» до 2006 г. на 1,3 млн т превышало оценку по модели TISVPA — 9,6 и 8,3 млн т соответственно. Тенденция изменения запасов изменялась синхронно, что свидетельствует о достаточно высокой сходимости полученных результатов, однако в 2007 г. произошел «сбой», и тренды уже не совпадали (рис. 3, А). В дальнейшем, с 2010 г. по 2013 г. произошло восстановление синхронности трендов, однако более высокие значения были получены уже по модели TISVPA. В среднем превышение значений общей биомассы для периода 2010–2013 гг. составило 1,9 млн т («Синтез» — 7,7 млн т, TISVPA — 9,6 млн т). Таким образом, сравнительные результаты оценки общей биомассы охотоморс-

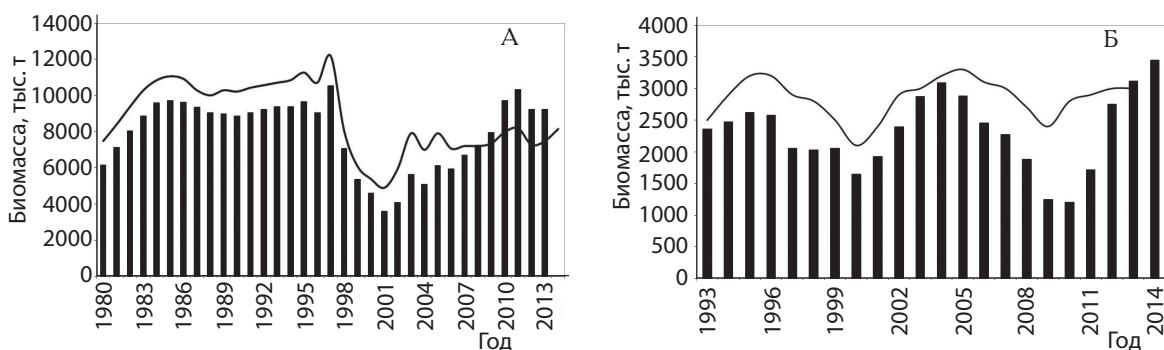


Рис. 3. Динамика общего запаса охотоморского минтая (*A*) в 1980–2014 гг. и наваринского минтая (*Б*) в 1993–2014 гг. по данным О.И. Ильина (линия) и Д.А. Васильева (столбцы).

Устойчивый тип динамики запасов

кого минтая, полученные по модели «Синтез», демонстрируют неустойчивость для периода после 2007 г., что, возможно, связано с изменением значений настроек параметров модели или другими источниками неопределенности.

Сравним данные по оценке общей биомассы минтая Наваринского района, полученные по моделям «Синтез» и TISVPA за период с 1993 по 2014 гг. Следует отметить, что в 1993–2011 гг. тенденция изменения запасов в значительной степени была синхронной. Сравнение полученных значений свидетельствует о том, что за указанный период средняя биомасса, рассчитанная по модели «Синтез», составляла 2,8 млн т, что на 0,6 млн т больше, чем по модели TISVPA. Однако в 2012–2013 гг., несмотря на рост биомассы, отмеченный по модели TISVPA, оценки по модели «Синтез» демонстрировали стабильное состояние запасов — на уровне 3 млн т (рис. 3, Б). Таким образом, сравнительный анализ показал, что для периода 1980–2006 гг. в Охотском море и 1993–2011 гг. в Беринговом море динамика запасов, рассчитанная по моделям «Синтез» и TISVPA, характеризовалась синхронностью. Однако в дальнейшем обнаружилось не только нарушение тренда, но и снижение значений общей биомассы минтая указанных районов по модели «Синтез». Данное обстоятельство может свидетельствовать о возможном изменении настроек параметров.

Практическое использование разных моделей при оценке запасов одного вида возможно, и эта формула широко применяется в

настоящее время в рабочих группах ИКЕС. Из числа моделей выбирается основная, которая в наибольшей степени соответствует необходимым требованиям, тогда как все остальные могут быть использованы как дополнительные. По прошествии 5–10-летнего периода проводится специализированное заседание рабочей группы по методологии оценки запасов, на котором, наряду с основной, представляются другие модели, способные с ней конкурировать. В том случае, если сравнительные данные показывают большую надежность получаемых результатов, то модель может быть заменена на более совершенную. Такой случай имел место на заседании рабочей группы ИКЕС по арктическим запасам [ICES WKARCT Rep., 2015]. В результате с 2015 г. модель SAM (Stochastic State-Space Model) «оценки в пространстве состояний» принята в качестве основной для оценки запасов пикши, тогда как модель XSA (Extended Survival Analysis Method) перешла в разряд дополнительных, что и позволило в конечном итоге увеличить квоты вылова пикши.

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что современная методология оценки запасов может быть основана преимущественно на методах математического моделирования. Привлекательность данного подхода очевидна: не выходя из кабинета, учёный может оценить запасы и сформулировать соответствующие рекомендации для менеджеров. Стоимость таких работ на несколько порядков ниже, чем стоимость судовых исследований. Отсюда следует, что финансовый выигрыш

может обеспечить применение исключительно методов математического моделирования. Однако это не так, необходимо понимать, что только сочетание научных данных и промысловой статистики позволит повысить точность оценки запасов, являющихся отправной точкой для дальнейших прогнозов биомассы, необходимых для оценки ОДУ.

Прогнозирование биомассы. Одной из наиболее сложных задач в рыбохозяйственных исследованиях является прогнозирование биомассы. Очевидно, что в общем виде прогноз должен основываться на учтённом запасе в терминальном году, включать пополнение и убыль (естественную и промысловую смертность). Некоторые учёные полагают, что в основе механизма динамики численности поколений минтая лежит связь «родители—потомство». Ведь действительно не бывает молоди без икры, а в дальнейшем и взрослых рыб без молоди. Как известно, обоснованный Рикером [Ricker, 1954] принцип зависимости численности потомства от биомассы (численности) родителей имел ограничение — фактор плотности, являвшийся источником высокой смертности при значительной исходной биомассе нерестового запаса. Именно поэтому при среднем уровне нерестового запаса, являвшегося, по данным автора, оптимальным, появлялись наиболее многочисленные поколения тихоокеанских лососей. Графически зависимость «родители—потомство» имеет характер куполообразной кривой и в дальнейшем стала называться среди специалистов «кривой Рикера». Долгие годы существовавшая парадигма о тесной взаимосвязи между исходной численностью (биомассой) нерестовых рыб с численностью пополнения привела к тому, что многие специалисты, связанные с математическим моделированием, стали широко применять формализованную версию связи «родители—потомство» при прогнозе численности пополнения рыб, несмотря на значительный разброс точек. Безусловно, для 40-х — 50-х гг. XX в., когда не было продолжительных рядов наблюдений, идея Рикера оказалась весьма своевременной и плодотворной, так как позволила заполнить существующий информационный вакuum — отсутствие

продолжительных рядов наблюдений. И логика Рикера была понятна, так как основывалась на ограниченности нерестового субстрата, пригодного для размножения тихоокеанских лососей, откладывающих донную икру на гальку. Многие исследователи наблюдали, как пришедшие на нерест производители в случае нехватки нерестовых площадей, пригодных для размножения, разрывали «гнёзда» своих предшественников. Следовательно, теоретические обоснования Рикера и практические наблюдения специалистов-биологов не только не противоречили, но и взаимно дополняли друг друга. Какие же подходы используются сегодня для прогнозирования численности пополнения минтая?

Известно, что минтай относится к пелагофильным рыбам и после нереста его икра всплывает в верхние горизонты, где и происходит её развитие. Более того, через считанные минуты после вымета икры связь родителей с потомством прерывается. Следовательно, будущее потомство попадает в условия, где факторы внешней среды должны оказывать основное влияние на формирование численности генераций. Иное дело колюшки и другие рыбы, которые охраняют кладки своей икры. В данном случае следствием существенного различия в биологии является разная плодовитость. Если у колюшек она достигает в среднем нескольких сотен, то у самок минтая — в среднем 200–400 тыс. шт., то есть на 3 порядка выше. Следовательно, столь высокая плодовитость минтая может объясняться адаптационной (эволюционной) особенностью вида, не охраняющего икру, которая компенсирует высокую смертность при помощи плодовитости. Морская акватория, пригодная для размножения минтая, в отличие от верховьев рек, где наблюдается нерест лососей, весьма значительна и ограничивается не площадью, а оптимальной температурой.

Сегодня отечественными и зарубежными учёными накоплены значительные ряды наблюдений, поэтому впервые за многие годы появилась возможность протестировать зависимость «родители—потомство» у минтая, обитающего в различных районах северной части Тихого океана, при помощи корреляционного анализа.

Используя новые данные американских учёных [Dorn et al., 2014], сопоставили численность 5-годовиков минтая зал. Аляска с исходной биомассой нерестового запаса для периода 1977–2009 гг. Оказалось, что связь между ними весьма слабая, о чём свидетельствует низкое значение коэффициента корреляции $r = -0,18$ (рис. 4,А).

Для минтая восточной части Берингова моря автор, также основываясь на данных американских специалистов [Panelli et al., 2014], проанализировал зависимость численности особей минтая в возрасте 5 лет от исходной нерестовой биомассы за период с 1965 по 2009 гг. В результате оказалось, что коэффициент корреляции был близок к нулю и составил $r = -0,02$, что свидетельствует о полном отсутствии какой-либо связи (рис. 4,Б).

Сравнение численности поколений минтая, обитающего в западной части Берингова моря, с нерестовой биомассой в 1970–1990 гг. [по данным: Balykin, 1996] показало, что анализируемая зависимость была достаточно слабой, хотя коэффициент корреляции оказался существенно выше $r = 0,38$ (рис. 4,В). Аналогичные процедуры были выполнены автором для минтая восточной части Охотского моря. Сравнение численности особей в возрасте 5 лет с исходной нерестовой биомассой в 1974–1998 гг. [по данным: Бабаян и др., 2006] показало, что и в этом случае зависимость была слабой, коэффициент корреляции составил $r = 0,29$ (рис. 4,Г). Отсутствовала и сколь-нибудь существенная связь между нерестовой биомассой и численностью пополнения в возрасте 2 года у минтая, обитающего в тихоокеанских водах Японии [Shida et al., 2007]. Таким образом, перечисленные примеры со всей очевидностью подтверждают отсутствие статистически значимой связи «родители—потомство» у минтая перечисленных районов. Из полученных результатов можно сделать вывод, что роль доминирующего фактора, которая ранее отводилась исходной численности (биомассе) нерестовых особей, сильно преувеличена. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости отказаться в расчётах прогнозирования численности пополнения минтая от парадигмы «родители — потомство», которая статистически не обоснована и вносит серьёзные «шумы» в конечный результат — прогноз ОДУ.

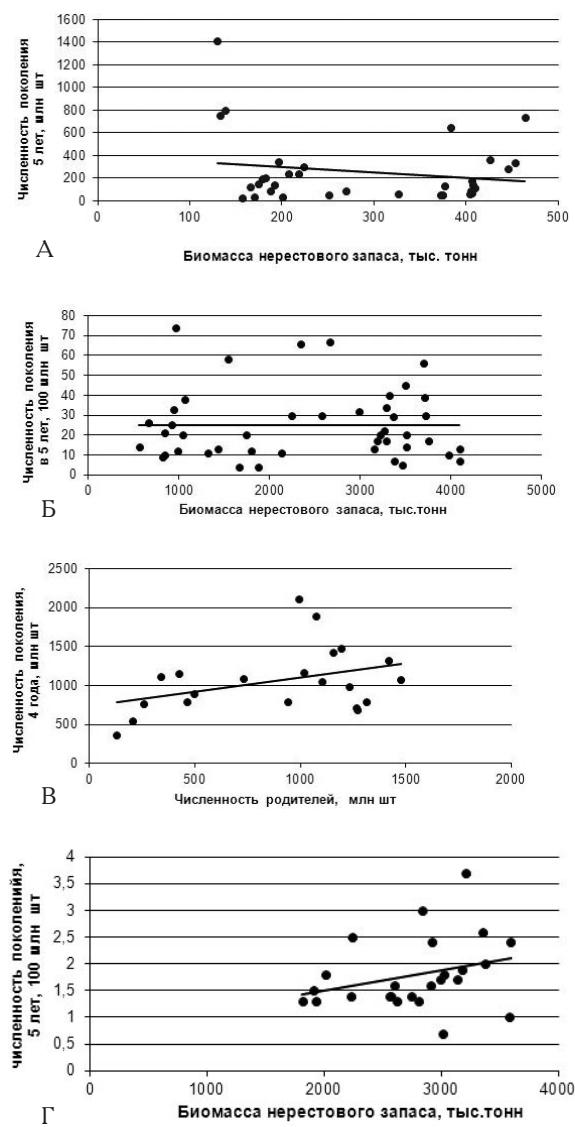


Рис. 4. Зависимость связи «родители—потомство» у минтая зал. Аляска (А, по данным Dorn et al., 2014), восточной части Берингова моря (Б, по данным Panelli et al., 2014), западной части Берингова моря (В, по данным по данным Balykin, 1996) и восточной части Охотского моря (Г, по данным Бабаян и др., 2006)

Изучению межгодовой изменчивости численности поколений минтая посвящён ряд работ [Hamai et al., 1971; Эверькова, 1973; Васильков, Глебова, 1984; Балыкин, 1992; Megrey et al., 1995; Quinn, Niebauer, 1995; Wespestad et al., 2000; Funamoto, 2007; Shida et al., 2007; Mueter et al., 2011; Булатов, 2014; Funamoto et al., 2014]. Большинство специалистов обнаружили, что появление урожайных поколений отмечалось преимущественно в теплые годы, а неурожайных — в холодные

Автор задался целью исследовать наличие/отсутствие связей численности и биомассы минтая восточной части Берингова моря с концентрацией хлорофилла *a*, температурой и солнечной активностью. Результаты корреляционного анализа показаны в табл. 10. Оказалось, что температура воды на поверхности и у дна не может рассматриваться как предиктор изменчивости биомассы и численности минтая, а также концентрации хлорофилла *a*.

Высокий уровень тесноты связи (значение коэффициента корреляции 0,75–0,77), влияющий на численность поколений минтая в возрасте 1+ и 5 лет, демонстрирует средняя температура воды в слое 0–100 м (осреднённые значения на стандартных горизонтах 0, 10, 30, 50, 100 м) в июле за 1 год до нереста (1965–1983 гг.). Средний уровень тесноты связи (значение коэффициента корреляции 0,59–0,60) обнаружен для солнечной активности и хлорофилла *a* (1964–1994 гг.), а также для солнечной активности и биомассы минтая (1971–1998 гг.). Таким образом, экологические факторы (солнечная активность и средняя температура воды) оказывают существенно большее влияние на численность генераций минтая, чем исходная численность (биомасса) нерестующих рыб, что и должно учитываться при прогнозировании численности пополнения минтая. Технически сделать это не сложно, так как учёные дальневосточных НИИ рыбного хозяйства и океанографии регулярно выполняют комплекс гидрологических работ, которые включают в себя измере-

ния температуры воды на стандартных горизонтах.

Основы стратегии управления промыслом минтая. Необходимо сразу разобраться с терминами. Почему не «управление запасами», а именно «управление промыслом»? Потому что возможность управлять запасами рыб успешно реализуется в управляемом эксперименте или в условиях аквакультуры (садковое, прудовое выращивание). Иллюзия того, что человек может управлять запасами минтая в условиях обитания этого вида в крупных экосистемах, напоминает популярный в 1960-е гг. слоган: «Человек — хозяин природы». Природа много раз убеждала человека в обратном при помощи различных явлений: засух, наводнений, извержений вулканов, землетрясений, цунами. Поэтому, дай Бог, нам разобраться хотя бы с основами управления промыслом.

Первые принципы регулирования промысла, основанные на изучении взаимодействия системы «запас—промысел», были сформулированы ещё в начале прошлого века Барановым [1918], который показал, как под воздействием промысла наблюдалось снижение запаса и мелкие рыбы начинали преобладать в уловах над крупными особями. Выводы Баранова со временем были успешно formalизованы математиками и положены в основу идеологии управления промыслом. Таким образом, была сформулирована основная идея — неконтролируемый промысел оказывает губительное воздействие на запасы рыб.

Таблица 10. Корреляционный анализ тесноты связей между параметрами среды и численностью (биомассой) минтая восточной части Берингова моря

Параметр	Биомасса, млн. т	Численность 1+	Численность 5-годовиков	Концентрация Chl A
Температура воды:				
на поверхности	0,29 (1970–1998 гг.)	0,06 (1970–2000 гг.)	0,11 (1970–2000 гг.)	-0,05 (1970–2004 гг.)
у дна	0,12 (1982–2000 гг.)	-0,23 (1982–2004 гг.)	-0,15 (1982–2000 гг.)	0,01 (1982–1994 гг.)
в слое 0–100 м в июле	0,59 (1966–1984 гг.)	0,22 (1966–1984 гг.)	0,36 (1966–1984 гг.)	0,39 (1966–1984 гг.)
в слое 0–100 м в июле за 1 год до нереста	0,60 (1965–1983 гг.)	0,77 (1965–1983 гг.)	0,75 (1965–1983 гг.)	0,37 (1965–1983 гг.)
Солнечная активность, числа Вольфа	0,60 (1971–1998 гг.)	0,41 (1965–1999 гг.)	0,38 (1963–1999 гг.)	0,59 (1964–1994 гг.)

Истории известны примеры, когда неконтролируемый промысел оказывал негативное влияние на запасы рыб, имеющих сложную возрастную структуру (длинноцикловых), в которой взрослые рыбы (остаток) существенно превалировали над пополнением: кабан-рыба, нототения, рыба-капитан, и, конечно, осетровые виды, обитающие в Каспийском, Азовском и Чёрном морях и бассейне р. Амур. Следовательно, формулирование принципов рационального использования ресурсов и строгое их соблюдение — основа стратегии управления промыслом.

Вопрос, насколько существенным является влияние промысла на запасы короткоцикловых и среднекцикловых рыб, является достаточно дискуссионным. Существует определённое количество видов рыб, которые существенно недоиспользуются промыслом, однако их биомасса, тем не менее, сокращается. Значит причина не в промысле? Есть и другие примеры: существующий запрет промысла сахалино-хоккайдской сельди так и не привёл к восстановлению её запасов. Аналогичная ситуация сложилась с богословским минтаем Берингова моря, запрет на промысел которого существует более 20 лет, а запасы по-прежнему находятся ниже критического уровня. Указанные примеры ярко демонстрируют существование других систем, кроме промысла, которые регулируют численность рыб, оказывая мощное воздействие не только на эксплуатируемые виды, но и на всю биоту в целом.

Следовательно, кроме системы «запас—промысел» существуют другие системы, которые пока не принимаются в расчёт специалистами по математическому моделированию. К ним относятся такие, как «организм—среда», «организм—организмы», степень взаимовоздействия которых в современных представлениях учёных, занимающихся регулированием промысла, весьма принижена. Биологические системы (экосистемы), частью которых являются промысловые виды, в том числе минтай, весьма изменчивы во времени и пространстве и реагируют на проявления значительного количества факторов среды. В результате чего изменяется и уровень их запасов.

В чём заключается основная цель стратегии управления промыслом? Очевидно, в рациональном использовании запасов. По мнению автора, задачи должны быть следующими:

мониторинг качественного состояния и количественной оценки запасов;

прогноз состояния запасов, основанный на современной методологии;

разработка Правила регулирования промысла с учётом особенностей динамики запасов;

прогноз биологически возможного улова;

прогноз общего допустимого улова с учётом особенностей структуры запаса, социально-экономических и политических факторов, а также конъюнктуры рынка;

меры регулирования промысла и контроль их выполнения.

Первые две задачи ранее анализировались нами.

В связи с вышесказанным возникает вопрос: «Какую концепцию регулирования промысла корректнее использовать именно для минтая?» В последние годы очень часто у нас в стране и, особенно, за рубежом обсуждались возможности использования экосистемной модели управления, которая позволит заложить основы многовидового промысла и будет базироваться на данных всех трофических уровней экосистемы. Сторонники экосистемного управления полагают, что его применение позволит достигнуть следующих целей: экосистемного разнообразия; видового разнообразия; генетической изменчивости внутри видов; баланса трофических уровней. Комментировать целеполагание, особенно с точки зрения прикладной науки, вряд ли имеет смысл. Вдохновлённые этими идеями учёные взялись за дело, но оказалось, что на пути их реализации обнаружились трудности, многие из которых оказались непреодолимы. Критический анализ, выполненный В.П. Щунтовым [2004. С. 232], позволил автору сделать вывод о том, что «это пока всё еще мечта, а не реальность». Практика показала, что одновидовые модели наиболее удобны для прогнозирования.

Вроде бы все проблемы решены, преимущества очевидны. Однако не следует забывать, что современный подход к управлению про-

мыслом основан на ряде допущений, которые являются весьма дискуссионными с позиции сегодняшних знаний. Их несложно обнаружить в монографии В.К. Бабаяна [2000. С. 7, 8].

- Запас находится в состоянии статического равновесия с окружающей средой.

- Ёмкость среды, характеризующаяся величиной кормовой базы, является лимитирующим фактором.

- Динамика изменчивости запаса описывается параболической кривой, похожей на «кривую Рикера» и основана на том, что при увеличении биомассы, возрастает плотность запаса, а среда равновесна, поэтому наступает снижение запаса. Темпы роста снижаются до нуля.

- «Сохраняя сделанное ранее допущение о равновесном состоянии запаса, будем считать промысел фактором окружающей среды, с которым у запаса мгновенно устанавливается равновесие. Тогда, выразив интенсивность промысла в единицах эффективного промыслового усилия E , заметим, что при постепенном увеличении уровня эксплуатации биомасса запаса будет уменьшаться... При дальнейшем увеличении усилия биомасса, а вместе с ней и продуктивность запаса постепенно снижается до 0, и запас потеряет своё промысловое значение» [С. 8–9].

Таким образом, логика следующая: запас равновесен и ограничен ёмкостью среды, которая является лимитирующим фактором; на запас влияет только промысел. Влияние среды в виде межгодовой изменчивости температурного режима, микроэлементов, биопродуктивности, которые, как известно, непостоянны во времени и пространстве, и в конечном итоге оказывают влияние на состояние запасов минтай, для упрощения процедуры расчёта принимаются равными нулю. Правда, автор [Бабаян, 2000] на стр. 10 делает существенную оговорку: «К сожалению, на практике допущение о равновесии системы «запас—промысел» в подавляющем большинстве случаев оказывается несостоительным...» Следовательно, мы должны понимать, что данная философия управления основана на ряде допущений, которые уже вступили в противоречие с накопленными фактологическими данными.

Для специалистов, изучающих запасы и готовящих предложения по принятию решений об объеме вылова, основным инструментом явля-

ется общий допустимый улов (ОДУ). Трактовка этого термина у разных специалистов несколько различается. Так математики [Бабаян, 2000. С. 10] формулируют его следующим образом: «Общий допустимый улов — это биологически приемлемая для запаса величина годового вылова, соответствующая долговременной стратегии рационального промыслового использования данного запаса».

В понимании юристов ОДУ «является количественным показателем возможного изъятия объектов промысла и устанавливается исходя из состояния водных биологических ресурсов в целях обеспечения сохранения биологического разнообразия животного мира и способности водных биологических ресурсов к воспроизведству и устойчивому существованию» (Постановление Правительства РФ от 21 мая 2001 г. №390).

У биологов распространённым является следующее понимание: ОДУ — это научно обоснованная величина промыслового изъятия из запаса, зависящая, согласно концепции репродуктивной разнокачественности популяций [Малкин, 1999, 2005], от возраста массового полового созревания самок, которая без ущерба для воспроизводительной способности может быть изъята промыслом.

ОДУ является широко используемым инструментом управления степенью воздействия промысла на запасы водных биологических ресурсов в нашей стране и за рубежом. Аналогом ОДУ в ЕС и США является понятие Total Allowable Catch (TAC).

Наука управления — менеджмент, является отдельной системой знаний. Сегодня от биологов, работающих в прикладной науке, не требуют описания видов, подвидов или «зарисовок» особенностей их биологии. От специалистов, занятых в сфере подготовки материалов прогноза ОДУ, требуют зачастую тех знаний, которые дают не биологам, а менеджерам. Кроме того, реалии сегодняшних условий таковы, что основное финансирование научных разработок выполняется при условии ежегодного получения основного научного результата — прогноза ОДУ и возможного вылова (ВВ). В связи с этим, видимо, есть смысл сопоставить имеющийся опыт, который сегодня накоплен биологами — «сырьевиками», участвующими

в процессе подготовки принятия решений в управлении промыслом, со знаниями менеджмента.

Теория принятия управленческих решений, являющаяся одним из основных разделов менеджмента, базируется на двух подходах: эмпирическом и теоретическом. Сторонники первого подхода считают, что формализовать процедуру принятия решений невозможно из-за сложности процесса управления и неопределенности внешней среды, в связи с чем основной упор делается на накопление опыта. Сторонники второго подхода считают, что путем формализованных алгоритмов, включая обработку, передачу и предоставление информации, можно исключить вероятность принятия волевых управленческих решений. Узнайте спор между теми, кто предпочитает пользоваться данными прямых учётных работ и применяющими математическое моделирование?

Сегодня большинство менеджеров разумно совмещают оба подхода. Учитывая накопленный опыт в подготовке ОДУ, можно сделать вывод о том, что в практике современной рыбохозяйственной науки также используются как те, так и другие подходы. Управлению промыслом минтая посвящено немало работ [Бабаян, 2004; Кузнецов, Кузнецова, 2002, 2012; Зверькова, 2002, 2003; Булатов, 2006], однако данный вопрос ещё не обрёл окончательного решения.

Несмотря на различие целей и задач, по которым принимаются решения, процесс принятия решения (ППР) всегда включает следующие три взаимовлияющие стадии [Переверзев и др., 2002]:

- подготовку решения;
- принятие решения;
- выполнение решения и его корректировку.

Для подготовки первой стадии, согласно существующим правилам менеджмента, привлекается следующая исходная информация:

- набор возможных альтернатив;
- критерии, согласно которым представляется возможным оценить каждую альтернативу;
- оценка каждой альтернативы по каждому критерию;
- сопоставимость критериев, характеризующих альтернативы, по степени важности при принятии решения.

Вторая стадия заключается в выборе единственного наилучшего решения из множества возможных вариантов, третья — в её реализации и возможной корректировке.

Специалисты-биологи, работающие при подготовке материалов прогноза ОДУ минтая, участвуют во всех перечисленных этапах. Следовательно, технология подготовки принятия решений, понимаемая в классическом представлении менеджерами, соответствует практике, распространённой и среди специалистов по минтая.

Решения могут приниматься в условиях определённости, риска и неопределенности. Выбор оптимального решения в условиях определённости возможен при помощи оценки суммы критериев, в условиях риска — анализа частотного распределения, в условиях неопределенности — основываясь на интуиции.

Современная система управления промыслом имеет следующие крупные блоки: мониторинга состояния запасов и промысла; определения ОДУ; выделения квот пользователям биоресурсов; контроля освоения пользователями выделенных объёмов биоресурсов.

Основная цель мониторинга состояния запасов и промысла заключается в сборе научных и промысловых данных, характеризующих количественное и качественное состояние биоресурсов.

Допустим, основываясь на полученных данных о состоянии запасов, рассчитали ОДУ минтая северной и восточной частей Охотского моря, в котором, с одной стороны, несколько промысловых подзон: Камчатско-Курильская, Западно-Камчатская, Северо-Охотоморская, а с другой — отсутствие сколь-нибудь признанной точки зрения относительно популяционного состава. Как этот ОДУ разделить между подзонами? По историческому принципу — по доле вылова в каждой из них? Вряд ли.

Видимо, во главу угла должен быть поставлен другой критерий, а именно средняя биомасса в каждой подзоне, поскольку именно на основе биомассы строятся рекомендации по оценке ОДУ. Но и это грубая прикидка. В действительности рациональный промысел какого-либо вида водных биоресурсов, в том числе и минтая, должен основываться на знаниях популяционного состава. Согласно представлени-

ям отечественных учёных [Глубоковский, 1987; Яблоков, 1987], популяцией является самовоспроизводящаяся группа особей одного вида, на протяжении эволюционно длительного времени населяющая определённое пространство и образующая самостоятельную генетическую систему и формирующую собственное гиперпространство. Следовательно, три критерия — центры воспроизведения, генетическая система и гиперпространство, могут быть использованы для диагностики популяций «в первом приближении».

В мировой практике управления промыслом, как правило, используется понятие «единицы запаса». В трактовке Шибаева [2014. С. 39] это «часть популяции, приуроченная к определённому промысловому району, которая выделяется как объект управления». Видимо, можно к этому добавить и то, что данная часть популяции должна иметь квазистационарные места размножения и «свой» жизненный ареал, который может не совпадать с современным промысловым районированием. Результаты исследований Е.Е. Овсянникова [2011] показали, что минтай Охотского моря неоднороден. Стационарные нерестилища расположены в 3-х значительно удалённых друг от друга районах, к которым «привязаны» младшие возрастные группы. Таким образом, этологические особенности указывают на пространственную изолированность их скоплений. Степень (внутри)популяционной подразделённости этих групп предстоит изучить в дальнейшем с использованием современных методов генетических исследований. Это позволит установить, насколько различия закреплены генетически.

Допустим, что нам удалось дифференцированно определить происхождение и границы обитания каждой единицы запаса. Что дальше? Видимо, исходя из принципа рациональной эксплуатации, необходимо установить амплитуду изменчивости биомассы исследуемой единицы запаса. Автором [Булатов, 2014] для минтая северной части Тихого океана были выявлены различные типы динамики запаса, имеющие различную амплитуду, период, минимальные, средние и максимальные значения биомассы. Оказалось, что запасы минтая, обитающего в зал. Аляска, восточной части Берингова моря, Наваринском районе Берингова моря, у тихоокеан-

ского побережья Камчатки и Северных Курильских островов, а также в северной части Охотского моря, обладают устойчивостью. После снижения запасов наступает их достаточно быстрое восстановление. Тогда как в остальных районах запасы минтая восстанавливаются долго, имея признаки неустойчивости. Очевидным является тот факт, что нельзя применять одну и ту же стратегию управления промыслом к запасам, которые имеют различный тип динамики биомассы.

Согласно Бабаяну используются следующие правила регулирования промысла [2000]:

Традиционный подход применяется при условии сохранения **устойчивости запаса** при всех возможных значениях его биомассы. В качестве целевого ориентира управления используются значения интенсивности промысла, максимизирующие продуктивность запаса в равновесных условиях. Регулирование промысла осуществляется с постоянной интенсивностью, независимо от состояния запаса. Следовательно, норма [промыслового] изъятия находится на одном уровне, независимо от состояния запаса.

Модифицированный традиционный подход используется при условии **устойчивости запаса** при всех возможных значениях биомассы, регулирование обеспечивает ускоренное восстановление запаса до целевого (оптимального) уровня и поддерживает его на этом уровне. Целевые ориентиры: по интенсивности промысла и управления по биомассе функционально зависят. Режим регулирования промысла осуществляется исходя из того, что существуют два режима состояния запаса. Первый, ниже целевого значения, предполагает более низкую интенсивность промысла. Второй, соответствующий значению запаса на целевом уровне, предполагает режим постоянной интенсивности промысла. По мнению автора меры по снижению интенсивности промысла создают благоприятные условия для восстановления запаса.

Предосторожный подход к регулированию промысла имеет следующие начальные условия:

неопределённость в оценках параметров учитывается в явном виде (параметры — случайные величины);

запас может потерять устойчивость при падении величины запаса ниже некоторого критического уровня;

регулирование обеспечивает ускоренное восстановление запаса до целевого уровня и поддерживает его на этом уровне без ущерба для биологической безопасности запаса;

при приближении значений биомассы к границам диапазона их биологически безопасных уровней принимаются заранее предусмотренные меры по ограничению эксплуатации запаса вплоть до полного прекращения любой промысловой деятельности.

Таким образом, применение стратегии «предосторожного подхода» возможно лишь при условии доказательств потери устойчивости запаса, произошедших в результате каких-либо причин. Это важный момент, так как он определяет границы применения данной стратегии и с точки зрения логики вполне оправдан.

Ориентирами управления являются:

границы ориентир по биомассе и интенсивности промысла;

буферный (предосторожный) ориентир по биомассе и интенсивности промысла, «в зависимости от целей регулирования рыболовства буферные ориентиры могут выполнять функции основных, граничных или целевых ориентиров управления» [Бабаян, 2000. С. 55];

целевой ориентир по биомассе и интенсивности промысла, используется при восстановленном уровне запаса.

Режимы регулирования:

режим полного запрета, при условии достижении запасом минимального уровня;

режим восстановления запаса, при условии имеющейся тенденции роста;

режим постоянной интенсивности промысла, при достижении уровня восстановленного запаса.

Следовательно, применение предосторожного подхода в стратегии управления промыслом мингтая оправдано лишь для тех районов, в которых запас терял устойчивость: минимальные значения запасов и период депрессии наблюдались в течение ряда лет, без признаков восстановления запасов. Таким образом, правомочность применения этого подхода должна быть ограничена наличием периода низкого уровня запасов чего не наблюдалось для наиболее крупных по биомассе единиц запаса мингтая.

Поэтому для мингтая Наваринского района Берингова моря, тихоокеанского побережья Камчатки и Северных Курильских островов, а также северной части Охотского моря, представляющих наибольший интерес для отечественного рыболовства, применение концепции «предосторожного подхода» необоснованно. Вероятно, более обоснованной для мингтая указанных районов может быть применение концепции максимально устойчивого улова (MSY, Maximum Sustainable Yield). В то же время для остальных районов промысла применение «предосторожного подхода» оправданно, так как имеются эмпирические данные свидетельствующие о неустойчивости запасов.

В настоящее время, видимо, самой главной «болевой точкой» является отсутствие единого подхода к вопросу определения доли промыслового изъятия. Американские учёные, например, считают, что при оценке ОДУ следует исходить из биомассы половозрелых самок мингтая [Dorn et al., 2014; Ianelli et al., 2014]. Теоретически, конечно, самки должны определять численность поколений. Ведь они выметывают икры. Но, как было показано выше, статистически значимая связь между численностью потомства и биомассой родителей отсутствует.

А как обстоит дело с ключевым объектом отечественного рыболовства — охотоморским мингтаем? Когда проанализировали динамику промыслового изъятия — соотношения вылова к запасу (данные Д.А. Васильева), то оказалось, что в течение 1997–2001 гг., несмотря на снижение биомассы, промысловое изъятие увеличивалось с 28 до 36%. С 2003 г., несмотря на рост запасов, наблюдалась устойчивая тенденция снижения промыслового изъятия с 24 до 12%. Наиболее низкие значения промыслового изъятия (11,9–13,3%) отмечены на максимуме запасов, в 2012–2014 гг. (рис. 5, А). Таким образом, промысловое изъятие было адекватным в период высокого уровня запасов в середине 1990-х гг., чрезмерным в период низкого уровня запасов в 1999–2001 гг., и весьма низким в период высокого уровня запасов в 2012–2014 гг.

И тут хотелось задаться вопросом: «А как же у них, например, в ИКЕС?» Классическим примером успешного управления промыслом

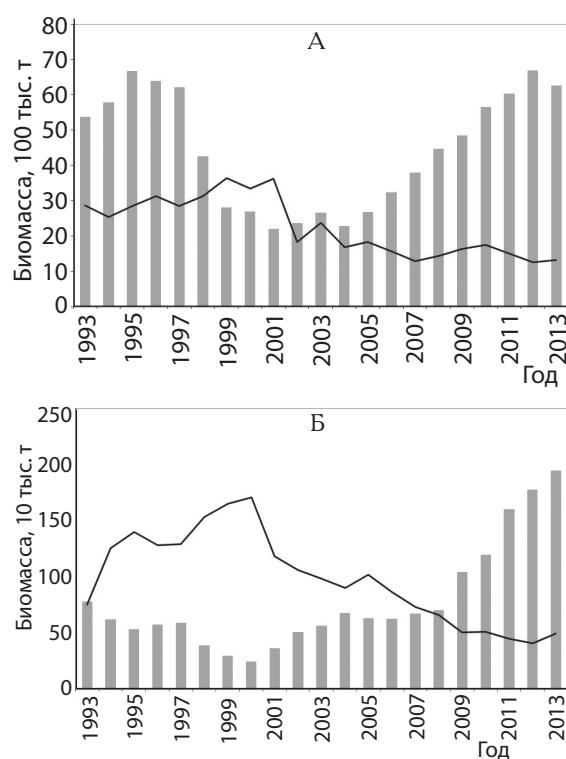


Рис. 5. Динамика промыслового изъятия (линия, %) и нерестовой биомассы (столбцы) охотоморского минтая (А) и баренцевоморской трески (Б) в 1993–2013 гг.

является баренцевоморская треска. Совершенно удивительными оказались данные по баренцевоморской треске, заимствованные из отчёта рабочей группы ИКЕС по арктическому рыболовству [AFWG Rep., 2015]. Если посмотреть на рисунок 5,Б, то окажется, что в течение 1994–2005 гг. норма промыслового изъятия превышала 100% от нерестового запаса. Например, в 1998–2000 гг. норма промыслового изъятия составляла 153–171% (!). Что говорят специалисты в таких случаях? «Этого не может быть! Через 1–2 года наступит коллапс запасов, исчезнут нерестующие рыбы, и следующим шагом должен быть запрет промысла».

На самом деле все произошло с точностью до наоборот. Начиная с 2008 г. запас начал расти и в 2013 г. достиг исторического максимума, превысив послевоенный уровень. Отсюда следует важный вывод — биомасса нерестового запаса трески значительно недооценена. Характерным для трески оказался понижающийся тренд доли промыслового изъятия, и это отмечалось на фоне растущей нерестовой биомассы.

В основу управления промыслом трески положено предположение о существовании зависимости «родители — потомство». Автором при помощи корреляционного анализа была проанализирована данная зависимость для периода 1946–2010 гг. Оказалось, что коэффициент корреляции составил $r = 0,23$, тогда как зависимость численности поколений трески в возрасте 3 лет от температуры воды на Кольском разрезе для периода 1977–2011 гг. составила $r = 0,70$. В целом для периода 1993–2014 гг. средний вылов составил 630 тыс. т, биомасса нерестового запаса — 813 тыс. т, а промысловое изъятие — 77,5% (!) от нерестового запаса. Такое регулирование промысла, осуществляющееся в ИКЕС, вряд ли можно квалифицировать как «рациональную эксплуатацию ресурсов».

По мнению автора, достаточно объективным критерием распределения нормы промыслового изъятия является возраст наступления массового полового созревания самок. Исходя из концепции репродуктивной разнокачественности популяций [Малкин, 1999], возможно определить ту часть запаса, которую теоретически без ущерба для популяции можно изъять промыслом. Для минтая, в массе созревающего в возрасте 5–6 лет норма промыслового изъятия составляет 20,7–23,4%, то есть примерно в 2 раза больше существующего в последние годы уровня. Массовое половое созревание трески Баренцева моря наступает в возрасте 7–8 лет [AFWG Rep., 2015], что позволяет установить норму промыслового изъятия 16,7–18,6% от биомассы. В действительности же оказалось, что расчётное значение нормы промыслового запаса трески значительно больше. Такая ситуация возможна лишь при условии существенного занижения оценки биомассы, о чём уже упоминалось ранее.

Применение концепции MSY и реальных норм промыслового изъятия позволит биологам оценить величину биологически допустимого улова (Allowable Biological Catch, ABC). В дальнейшем менеджеры, в зависимости от конъюнктуры рынка, социально-экономических факторов, с учётом анализа других рисков, представленных в виде набора сценариев, смогут выбрать оптимальное значение ОДУ.

Выводы

Анализ применения учётных работ выявил источники неопределённости, приводящие к резким скачкам в оценке запасов. Использование этих данных в качестве настроечных параметров наряду со статистикой промысла в математическом моделировании позволит избежать резкого снижения/увеличения ОДУ.

Анализ тесноты связей «родители—потомство» позволил сделать вывод о том, что она статистически недостоверна. Следовательно, роль нерестового запаса в формировании численности пополнения преувеличена, поэтому при использовании математических моделей её необходимо исключить из расчётов.

Высокий уровень тесноты связи «температура—потомство», основанный на корреляционном анализе ($r = 0,75—0,77$) позволяет рассматривать данный параметр среды в качестве интегрированного показателя, который необходимо использовать при прогнозировании численности пополнения.

В связи с установленной устойчивостью запасов, применение концепции «предосторожного подхода» необоснованно для минтая, обитающего в северной части Охотского моря, Наваринском районе Берингова моря, тихоокеанских водах Камчатки и у побережья Северных Курильских островов. Более обоснованной является концепция максимально устойчивого улова MSY.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). М.: ВНИРО. 192 с.
- Бабаян В.К., Васильев Д.А., Варкентин А.И., Сергеева Н.П. 2006. Методические особенности обоснования ОДУ минтая в условиях неопределённости // Труды ВНИРО. Т. 146. С. 13—37.
- Бабаян В.К. 2004. Альтернативные методы оценки рекомендаемой интенсивности промысла при расчёте ОДУ // Рыбное хозяйство. № 4. С. 18—20.
- Балыкин П.А. 1992. Численность поколений и пополнение у западноберингоморского минтая *Theragra chalcogramma* // Вопросы ихтиологии. Т. 32. Вып. 5. С. 185—189.
- Балыкин П.А. 1993. Изменчивость сроков нереста и смертность развивающейся икры у западноберингоморского минтая (*Theragra chalcogramma* (Pallas)) // Исследования биологии и динамики численности промысловых рыб Камчатского шельфа. Вып. 2. Петропавловск-Камчатский. С. 166—176.
- Балыкин П.А., Максименко В.П. 1990. Биология и состояние запасов минтая западной части Берингова моря // Биологические ресурсы шельфовых и окраинных морей Советского Союза. М.: Наука. С. 111—126.
- Баранов Ф.И. 1918. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Известия отдела рыболовства и научно-промышленных исследований Т. 1. С. 82—128.
- Борец Л.А., Степаненко М.А., Николаев А.В., Грицай Е.В. 2002. Состояние запасов минтая в Наваринском районе Берингова моря // Известия ТИНРО. Т. 130. Ч. 3. С. 1001—1014.
- Булатов О.А. 1986. К методике оценки нерестового запаса минтая в западной части Берингова моря // Тресковые дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО. С. 35—42.
- Булатов О.А. 2006. Вопросы прогнозирования ОДУ и промысел минтая Берингова моря // Методические аспекты исследований рыб морей Дальнего Востока: Труды ВНИРО. Т. 146. С. 37—58.
- Булатов О.А. 2014. Промысел и запасы минтая *Theragra chalcogramma*: возможна ли «турбулентия»? // Вопросы рыболовства. Т. 15. № 4. С. 37—58.
- Васильев Д.А. 2001. Когортные модели и анализ промысловых биоресурсов при дефиците информационного обеспечения: М.: ВНИРО. 111 с.
- Васильев Д.А. 2006. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006611764. Реестр программ для ЭВМ. Triple-separable Virtual Population Analysis (TISVPA).
- Васильев В.П., Глебова С.Ю. 1984. Факторы, определяющие урожайность поколений минтая Западной Камчатки // Вопросы ихтиологии. Т. 24. Вып. 4. С. 561—570.
- Глубоковский М.К. 1987. Популяционная организация вида у рыб // Популяционный состав, динамика численности и экология минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 48—57.
- Дементьева Т.Ф. 1976. Биологическое обоснование промысловых прогнозов. М.: Пищ. пром-ть. 237 с.
- Дехник Т.В. 1964. Об изменении численности икры и личинок черноморской ставриды в процессе онтогенеза // Тр. Севастопольской биол. станции. Т. 15. С. 292—301.
- Заферман М.Л., Серебров Л.И. 1985. Методы и результаты изучения коэффициентов уловистости траолов // Исследования по оптимизации рыболовства и совершенствованию орудий лова. М.: Изд-во ВНИРО. С. 84—94.
- Зверькова Л.М. 1973. О динамике численности поколений минтая в зависимости от температуры воды в период нереста // Рыбное хозяйство. № 3. С. 14—15.
- Зверькова Л.М. 2002. Морские биологические ресурсы и некоторые проблемы управления // Рыбное хозяйство. № 1. С. 27—29.
- Зверькова Л.М. 2003. Минтай. Биология, состояние запасов. Владивосток: ТИНРО-Центр. 248 с.

- Ильин О.И., Сергеева Н.П., Варкентин А.И.* 2014. Оценка запасов и прогнозирование ОДУ восточно-камчатского минтая (*Theragra chalcogramma*) на основе предосторожного подхода // Труды ВНИРО. Т. 151. Современные аспекты количественного анализа сырьевой базы рыболовства. С. 62–74.
- Кадильников Ю.В.* 2001. Вероятностно-статистическая теория рыболовных систем и технической доступности для них водных биологических ресурсов. Калининград: Изд-во АтлантНИРО. 277 с.
- Кузнецов В.В., Котенев Б.Н., Кузнецова Е.Н.* 2008. Популяционная структура, динамика численности и регулирование промысла минтая в северной части Охотского моря. М.: Изд-во ВНИРО. 174 с.
- Кузнецов В.В., Кузнецова Е.Н.* 2002. Методологические основы определения допустимого улова // Рыбное хозяйство. № 1. С. 30–32.
- Кузнецов В.В., Кузнецова Е.Н.* 2010. Минтай северной части Охотского моря: зигзаги регулирования // Рыбное хозяйство. № 2. С. 47–49.
- Лисовенко Л.А.* 2000. Размножение рыб с прерывистым оогенезом и порционным нерестом на примере минтая Западной Камчатки. М.: Изд-во ВНИРО. 111 с.
- Малкин Е.М.* 1999. Репродуктивная и численная изменчивость промысловых популяций рыб. М.: Изд-во ВНИРО. 146 с.
- Малкин Е.М.* 2005. О концепции ОДУ как средстве управления промыслом // Рыбное хозяйство. № 5. С. 3–4.
- Михеев А.А.* 2014. Приложение модели открытой эксплуатируемой популяции к оценке локальных запасов // Труды ВНИРО. Т. 151. Современные аспекты количественного анализа сырьевой базы рыболовства. С. 112–125.
- Овсянников Е.Е.* 2011. Динамика пространственного распределения икры и молоди минтая в северной части Охотского моря. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-Центр. 20 с.
- Переверзев М.П., Шайденко Н.А., Басовский Л.Е.* 2002. Менеджмент. Учебник / Под общ. ред. проф. М.П. Переверзева. М.: ИНФРА-М. 288 с.
- Постановление Правительства Российской Федерации. 2001. Об утверждении положения об определении общих допустимых уловов водных биологических ресурсов. № 390 от 21 мая 2001 г.
- Смирнов А.В., Авдеев Г.В., Николаев А.В., Шевцов В.И.* 2006. Об оценке запасов охотоморского минтая инструментальными методами // Труды ВНИРО. Т. 146. С. 132–152.
- Соколовский А.С.* 1973. К методике определения естественной смертности у рыб // Иссл. по биол. рыб и пром. океанографии. Владивосток: ТИНРО. Вып. 4. С. 142–149.
- Синяков С.А.* 2015. Российский минтай на внешнем и внутреннем рынке // Рыбное хозяйство. № 1. С. 43–53.
- Треццев А.И.* 1974. Научные основы селективного рыболовства. М.: Пищ. пром-ть. 446 с.
- Тупоногов В.Н., Орлов А.М., Мухаметов И.Н.* 2006. Сравнительный анализ результатов донных траловых съемок разными судами на островном склоне Северных Курил (методические аспекты интеркалибровочных работ) // Методические аспекты исследований рыб морей Дальнего Востока. Труды ВНИРО. Т. 146. С. 181–190.
- Фадеев Н.С.* 1999. Методика оценки запасов минтая по численности икры и размерно-возрастному составу // Биология моря. Т. 25. № 3. С. 246–249.
- Фадеев Н.С., Веспестад В.* 2001. Обзор промысла минтая // Известия ТИНРО. Т. 128. С. 75–91.
- Честной В.Н.* 1977. Динамика уловистости донных трапов М.: Пищ. пром-ть. 97 с.
- Шибаев С.В.* 2014. Промысловая ихтиология. Калининград: Аксиос. 535 с.
- Шунтов В.П.* 2004. Управление морскими биологическими ресурсами — это пока всё ещё мечта, а не реальность // Известия ТИНРО. Т. 137. С. 232–240.
- Шунтов В.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Дулепова Е.П.* 1993. Минтай в экосистеме дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО. 426 с.
- Шунтов В.П., Дулепова Е.П.* 1995. Современное состояние, био- и рыбопродуктивность экосистемы Берингова моря // Комплексные исследования экосистемы Берингова моря. М.: ВНИРО. С. 58–88.
- Шунтов В.П., Радченко В.И., Дулепова Е.П., Темных О.С.* 1997. Биологические ресурсы дальневосточной российской экономической зоны: структура пелагических и донных сообществ, современный статус, тенденции многолетней динамики // Известия ТИНРО. Т. 122. С. 3–15.
- Шунтов В.П., Бочаров Л.Н., Дулепова Е.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Волченко И.В., Мельников И.В., Надточий В.А.* 2003. Результаты мониторинга и экосистемного изучения биологических ресурсов дальневосточных морей России // Известия ТИНРО. Т. 132. С. 3–26.
- Яблоков А.В.* 1987. Популяционная биология. М.: Высшая школа. 304 с.
- Balykin P.A.* 1989. Western Bering Sea walleye pollock population dynamics and stock conditions // Proc. Intern. Symp. Biol. Manag. Walleye Pollock. Alaska. P. 537–547.
- Balykin P.A.* 1996. Dynamics and abundance of western Bering Sea pollock // Ecology of the Bering Sea: A Review of Russian Literature. Alaska Sea Grant College Programm Rep. No-96-1. University of Alaska, Fairbanks. P. 177–182.
- Bax N.J., Laevastu T.* 1990. Biomass potential of large marine ecosystems: a system approach // Large Marine Ecosystems Pattern Processes and Yields. Am. Assoc. for Advancement of Sci. Washington D.C. P. 188–205.
- Bulatov O.A.* 1989a. Reproduction and abundance of spawning pollock in the Bering Sea // Proc. of the Intern. Sci. Symp. on Bering Sea Fish., July 19–21, 1988. Sitka, AL., USA, NOAA. Tech. Memo., NMFS. P. 40–47.

- Bulatov O.A. 1989b. Some data on mortality of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the early stages of ontogenesis // Intern. Symp. on Biol. and Management of Walleye Pollock, Nov. 14–16, Anchorage, Alaska, Univ. of Alaska, Fairbanks. Alaska Sea Grant Rep. 89–1. P. 185–198.
- Dorn M., Ayudin K., Jones D., Palsson W., Spalinger K. 2014. Chapter 1: Assessment of the walleye pollock stock in the Gulf of Alaska // Stock Assessment and Fishery Evaluation Report for the Groundfish Resources of the Gulf of Alaska. North Pac. Fish. Mgmt Council. Anchorage, AK. P. 53–170.
- Hamai I.K., Kinoshita S., Kyushin T. 1971. Effect of temperature on the body form and mortality in the developmental and early larval stages of the Alaska pollock (*Theragra chalcogramma* (Pallas)). Hokk. Univ., Fac. Fish. Bull. N 22 (1). P. 11–29.
- Hensen V. 1887. Über die Bestimmung des Plankton oder clas in Meere treibenden Materials an Pflanzen und Thieren // Berl. Komm. Wiss. Unter. Merrs. # 5. 13 g.
- ICES. 2015. Report of the Arctic Fisheries Working Group (AFWG) // ICES CM/ACOM. Copenhagen. 590 p.
- ICES WKARCT Rep. 2015. Report of the Benchmark Workshop on Arctic Stocks (WKARCT) // ICES HQ. Copenhagen. 56 p.
- Ianelli J.N., Honkalehto T., Barbeaux S., Kotwicki S. 2014. Assessment of the walleye pollock stock in the eastern Bering Sea // Stock Assessment and Fishery Evaluation Report for the Groundfish Resources of the Bering Sea. Aleutian Islands regions. 1. P. 55–156.
- FAO yearbook. 2012. Fishery and aquaculture statistics. Rome: FAO. 78 p.
- FAO yearbook. 2014. Fishery and aquaculture statistics. Rome: FAO. 76 p.
- Funamoto E. 2007. Temperature-dependent stock-recruitment model for walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) around Northern Japan// Fish. Oceanogr. V. 16. P. 515–525.
- Funamoto T., Yamamura O., Shida O., Itaya K., Hiyama Y., Sakurai Y. 2014. Comparison of factors affecting recruitment variability of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Pacific Ocean and the Sea of Japan off northern Japan // Social-Ecological Systems on Walleye Pollock under Changing Environment: Inter-disciplinary approach. Fish. Sci. V. 80. Issue 2. P. 117–126.
- Megrey B.A., Bograd S.J., Rugen W.J., Hollowed A.B., Stabeno P., Macklin S.A., Schumacher J.D., Ingraham W.J. 1995. An exploratory analysis of associations between biotic and abiotic factors and year-class strength of Gulf of Alaska walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) // Climate Change and Northern Fish Populations / R.J. Beamish (ed.). Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci. 121. P. 227–243.
- Mueter F.J., Bond N.A., Ianelli J.N., Hollowed A.B. 2011. Expected declines in recruitment of walleye (*Theragra chalcogramma*) in the Bering Sea under future climate change // ICES J. Mar. Sci. V. 68. P. 1284–1296.
- Quinn T., Niebauer Y. 1995. Relation of eastern Bering Sea walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) recruitment to environmental and oceanographic variables // Climate Change and Northern Fish Populations / R.J. Beamish (ed.). Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci. 121. P. 497–507.
- Ricker W. 1954. Stock and recruitment // J. Fish. Res. Bd. Can. V. 11. P. 559–623.
- Sasaki T. 1989. Synopsis of biological information on pelagic pollock resources in the Aleutian Basin // Proc. Intern. Sci. Symp. on Bering Sea Fish. Seattle, WA. P. 80–102.
- Sasaki T. 1990. Preliminary report on the second research cruise by Kaiyo maru for fiscal, 1989. Research on pollock stock in the international waters of the Bering Sea // Proc. Intern. Sci. Symp. on the Bering Sea Fisheries, April 2–5, 1990. Khabarovsk, USSR. NOAA, Seattle. P. 83–104.
- Saville A.M. 1964. Estimation of the abundance of a fish stock from egg and larval surveys // Rapp. F.V. CI-EM. P. 164–170.
- Shida O., Hamatsu T., Nishimura A., Suzuki A., Yamamoto J., Miyashita K., Sakurai Y. 2007. Interannual fluctuations in recruitment of walleye pollock in the Oyashio region related to environmental changes // Deep-Sea Res. II. V. 54. P. 2822–2831.
- Wespestad V., Traynor J. 1988. Walleye pollock // Condition of groundfish resources of the eastern Bering Sea and Aleutian Islands region in 1987. US Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS F/NWC-139. Seattle, WA. P. 11–32.
- Wespestad V., Fritz I., Ingraham W., Megrey B. 2000. On relationships between cannibalism, climate variability, physical transport, and recruitment success of Bering Sea walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) // ICES J. Mar. Sci. V. 57. P. 272–278.

Поступила в редакцию 24.08.2015 г.

Принята после рецензии 11.11.2015 г.

On the question of the methodology of stock assessment forecasting and pollock fishery strategy

O.A. Bulatov

Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO», Moscow)

Walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) is the most important target of the domestic fishery, playing a key role as the object of exports. The author analyzes the modern methodology of stock assessment and TAC forecasting. It is shown that the ichthyoplankton, trawl and acoustic surveys had some sources of uncertainty, which have a significant impact on the drastic changes of the biomass estimates. In the adjacent years founded, that values had a wide range of change: the spawning biomass based on ichtyoplakton surveys increase on 46%, fishable biomass, based on trawl surveys biomass, growth reached 64%, on acoustic surveys there was a decrease of 32%. Therefore obtained data can be used as a tuning parameter in modelling and forecasting of stock biomass. Using correlation analysis, relationship between «parents-recruitment» in the Gulf of Alaska, in the Bering Sea and the Sea of Okhotsk was verified. It was found that the correlation coefficient was a low value of -0.18 to 0.38 . It was found that the relationship «parent—recruitment» is not statistically significant, so it is necessary to exclude it from stock biomass forecasting. Highly significant relationship was observed between the mean water temperature and the fish abundance at the age of 1 and 5 years. Also found a positive relationship between solar activity and the concentration of chlorophyll *a*, and between solar activity and walleye pollock biomass. Comparison of estimates of the total biomass of walleye pollock in the Bering Sea and the Sea of Okhotsk, performed according to two methods — Triple-separable cohort Virtual Population Analysis (TISVPA) model and separable statistical model (Synthesis) showed that the trends of change for many years coincided with the exception of the 2010–2014. Analysis of the dynamics of biomass showed that in main fishing grounds of the domestic fishery for walleye pollock revealed high sustainability and ability to rapid recovery after the decline. This fact eliminates the application of the precautionary approach in assessing the TAC. It is more correct methodically to use the concept of maximum sustainable yield (MSY).

Key words: walleye pollock, strategy, stock assessment, correlation analysis, precautionary approach, analytical approach, rate of exploitation, TAC, northern part of Sea of Okhotsk, Navarin area of Bering Sea, waters off the eastern coasts of Kamchatka, North Kuril Island shore.