

# Популяционная структура минтая северной части Берингова моря

А.И. Глубоков – ВНИРО

В Беринговом море, площадь которого составляет всего 0,6 % Мирового океана, во второй половине 80-х годов вылавливалось до 4,5 млн т морепродуктов. Если исключить 30 % малопродуктивных районов, то рыбопродуктивность оставшихся будет сопоставима с продуктивностью апвеллингов Перу и Западной Африки. Взаимодействие шельфовых и глубинных вод создает повышенную продуктивность трех основных районов Берингова моря: в юго-восточной части это Бристольский залив и Богословский район, в западной – Карагинско-Олюторский район, в северной – Наваринский район. Именно там обитает большая часть минтая (*Theragra chalcogramma*) Берингова моря. Первоначальные исследования его биологии с целью получения наиболее достоверной информации для разработки принципов рационального использования запасов на долгосрочной основе показали существование в продуктивных районах самостоятельных запасов этого вида (Iwata, 1975; Серобаба, 1977; Флусова, 1987).

В период резкого увеличения численности, отмеченного в 80-е годы, произошло перекрывание ареалов этих запасов и усиление миграционной активности. В результате возникших сложностей идентификации популяционной принадлежности минтая из различных скоплений в тот период возобладала точка зрения об отсутствии самовоспроизводящейся популяции на севере моря (Stepanenko, 1989; Фадеев, 1991; Шунтов и др., 1993). Новое падение численности минтая в 90-е годы и проведение в 1990 г. линии разграничения морских пространств между СССР и США в северной части Берингова моря вновь со всей остротой поставили вопрос о популяционной принадлежности североберингоморских скоплений и принципах прогнозирования состояния их запасов. Прогнозирование, осуществляемое исходя из представлений о единой популяции минтая, распространенного от Наваринского района до Бристольского залива, плохо оправдывалось. Съёмки, проводимые российскими, американскими и японскими учеными с периодичностью один раз в 1–3 года, не давали информации о перемещениях, а указывали лишь на то или иное распределение скоплений в определенный климато-гидрологический момент конкретного года.

В этой связи назрела необходимость выработки новой методологии исследований, позволяющей собрать достоверную информацию по биологии и структуре североберингоморских запасов минтая и ее реализации в рамках комплексной многолетней программы. Актуальность проблемы диктуется, во-первых, необходимостью сохранения и рациональной эксплуатации североберингоморских запасов минтая; во-вторых – международно-правовыми вопросами использования запасов минтая Берингова моря, включая его северную и нейтральную части.

Основной целью исследований было определение популяционной структуры скоплений минтая северной части Берингова моря. Материал собирался в 27 рейсах (общей продолжительностью 1517 судо-сут.) в северо-западную, северную и северо-восточную части Берингова моря, в 10 из которых участвовал автор. В ходе рейсов выполнено 20 траловых и 11 эхоинтеграционных съёмок, восемь съёмок молоди, пять ихтиопланктонных съёмок. Проведены массовые промеры 492215 экз.; биологические анализы, включая питание, 71714 экз.; морфофизиологические исследования 24683 экз.; частотно-аллельный анализ геномной

ДНК, включая микросателлитные последовательности, 725 экз. минтая. Исследования проводились по совместным научным программам ВНИРО, КамчатНИРО и ТИНРО-Центра с февраля 1995 по июль 2004 г.

На предварительном этапе на основе анализа результатов всех основных экспедиций предыдущих лет во ВНИРО была разработана новая методология изучения минтая, суть которой заключается в проведении многократных в течение года комплексных съёмок: донных и разноглубинных траловых, эхоинтеграционных, ихтиопланктонных, зоопланктонных и съёмок молоди. Только такие съёмки позволяют получить картину структуры запасов не в статике, как это было ранее, а в динамике.

Совместные съёмки ВНИРО, КамчатНИРО и ТИНРО-центра впервые за всю историю изучения североберингоморских скоплений минтая охватывали три периода годичного цикла: постнерестовый, нагульный и предзимовально-зимовальный. В летний период скопления минтая формировались в верхней части материкового склона на внешнем шельфе, образуя широкую дугу, повторяющую форму рельефа дна. В юго-западном направлении они распространялись приблизительно до 175°30' в.д., в северном наиболее плотные скопления встречались до 62-й параллели, в восточном – до 179-го меридиана Западного полушария. В водах подводного Корякского нагорья летом минтай был многочислен между 171 и 173° в.д.

По мере прогрева вод и развития зоопланктона скопления наваринского минтая перемещались на шельф, рассредоточиваясь на обширной акватории Анадырского залива. В теплые и умеренно теплые годы (1996, 1997, 1998, 2003 и 2004) нагульные миграции проходили в более ранние сроки; в холодные (1999, 2000, 2001 и 2002) – миграции минтая из верхней части материкового склона на шельф начинались в более поздние сроки.

В сентябре-октябре в Наваринском районе выделялись два ядра скоплений: первое – к северо-востоку от мыса Наварин, между 179 и 176° з.д.; второе – южнее мыса Наварин, между 179°30' и 177° в.д., на глубинах 180–310 м. В октябре-ноябре минтай совершал обратные миграции к местам зимовки, вновь спускаясь к внешнему краю шельфа и на материковый склон. Сроки предзимовальных миграций, так же как и нагульных, зависели от температурного режима года.

В ноябре-декабре минтай наиболее часто встречался в районе квазистационарного круговорота у мыса Наварин, от 179°30' в.д. до 177°30' з.д. в меридиональном направлении и между 63°00' и 61°30' – в широтном. В декабре формирование предзимовальных скоплений в Наваринском районе завершалось (Глубоков, Норвилло, 2002; Глубоков, 2003).

В последнее десятилетие пространственное распределение неполовозрелого минтая в северной части Берингова моря в общих чертах было сходно с распределением взрослых рыб и имело ярко выраженный сезонный характер. Минтай на протяжении раннего онтогенеза в основном не покидал Наваринский район (Глубоков, Котенев, 1999; Глубоков, 2003).

Таким образом, результаты съёмок позволили однозначно определить пространственное распределение наваринского минтая как в сезонном, так и в межгодовом аспектах. В период съёмки значительных миграционных потоков минтая в юго-западном и юго-восточном направлениях и обратно не было отмечено ни в один из сезонов исследований (1996 – 2004 гг.) ни для одного из возрастных классов. Т.е. североберингоморский минтай посто-

янно находился в пределах биотопа, связанного с Наваринским течением и прилегающими квазистационарными круговоротами. В периоды высокой численности вида миграционная активность минтая возрастает; он распространяется в районы, где в периоды низкой численности встречается лишь эпизодически. На акваториях постоянного обитания происходит смешение скоплений минтая различного генезиса.

Основополагающий момент при выделении популяций морских видов рыб, не имеющих жестких географических границ, – принадлежность к определенным нерестилищам. Результаты анализа пространственной дифференциации нерестилищ минтая позволили сделать вывод о существовании в северной части Берингова моря устойчивых в межгодовом плане нерестилищ, в целом совпадающих с местами формирования скоплений минтая как в нерестовый, так и в нагульный периоды. В пределах северной половины Берингова моря наиболее четко оформлены следующие районы воспроизводства минтая: олюторско-карагинский, корякский, анадырско-наваринский, восточноберингоморский (Балыкин, 1986; Фадеев, 1991; Балыкин, 1997; Степаненко, 2001; Глубоков, Норвилло, 2002; Датский, 2002; Глубоков, 2003; Булатов, 2004). Северные нерестилища берингоморского минтая географически наиболее обособлены.

С целью оценки успешности нереста минтая в Наваринском районе Берингова моря в 1999 – 2002 гг. впервые было выполнено восемь съемок молоди (по две ежегодно). В Наваринском районе поколение минтая 2000 г. обладало наивысшей численностью среди поколений 1997 – 2002 гг. (17 млрд 699 млн экз.). Поколение 2001 г. было вторым по численности – 8 млрд 65 млн экз. В результате сравнения урожайности поколений минтая разных лет в Наваринском районе и восточной части Берингова моря выявлены существенные различия: поколение 1997 г. было урожайным в Наваринском районе и имело низкую численность на Восточно-Берингоморском шельфе; поколение 1998 г., напротив, имело низкую численность в первом районе и превышало среднелетнюю во втором. Многочисленные поколения минтая, появившиеся на Восточно-Берингоморском шельфе, впоследствии не становились многочисленными в Наваринском районе, и наоборот.

Данные по урожайности поколений минтая в различных районах Берингова моря впервые однозначно подтвердили гипотезу о формировании северных скоплений минтая за счет особей из собственных, наваринских, нерестилищ. Значительно пассивного переноса особей минтая в ходе раннего онтогенеза не происходит: личинки и сеголетки облавливаются в тех же районах, где наблюдается икрометание (Глубоков, Норвилло, 2002). Расчет естественной смертности на основании сопоставления численности минтая в различные периоды развития в пределах ареалов западноберингоморской и восточноберингоморской популяций и в пределах распространения североберингоморских скоплений показывает соответствие общепринятым для Берингова моря величинам (Балыкин, Варкентин, 2002).

Важнейшее значение в определении жизненной стратегии вида и слагающих его популяций, и в частности, в формировании популяционной плодовитости, играет скорость полового созревания. По нашим данным, наблюдается градуальная изменчивость темпов полового созревания минтая вдоль Восточно-Берингоморского и Северо-Берингоморского шельфов и склонов: минтай из северных скоплений созревает позже минтая из южных скоплений. Так, в 2004 г. первые половозрелые самки в Прибыловском районе были отмечены в возрасте трех полных лет, а среди пятилетков зрелыми были уже 64,9 % рыб. В более северном – Матвеевском – районе созрели только 30,6 % пятилетних самок. Самки самого северного, наваринского, минтая начали массово созревать (65,1 %) в возрасте более четырех полных лет. Такая же картина наблюдалась при созревании самцов.

Специфика биотопов накладывает отпечаток на биологию группировок, что, в свою очередь, определяет появление урожайных поколений и далее – формирование особенностей размерно-возрастного состава. Преобладание в Наваринском районе в нагульный период молоди начиная с 80-х годов прошлого века служило аргументом защитников теории миграций минтая с юга на север. Однако, по нашим данным, в последнее десятилетие доля молоди в Наваринском районе соответствует таковой в Олюторском заливе (63,78 %), где для минтая признается самостоятельный популяционный статус и где в скоплениях отсутствуют мигранты из отдаленных районов. При этом в Наваринском районе изменения соотношения молоди и взрослых особей при переходе от нагульного к зимовальному периоду не происходит: в 1999 – 2002 гг. доля минтая длиной от 12 до 30 см составляла здесь в среднем: летом – 63,99; зимой – 65,18 %. Эхоинтеграционные летние съемки Аляскинского центра рыбохозяйственных исследований 1999 г. показали преобладание на Восточно-Берингоморском шельфе минтая в возрасте 1–3 лет. Доля этих рыб в общей учетной численности в придонном слое и пелагиали составила 63,98 % (Николаев, Степаненко, 2001), т.е. столько же, сколько и в Наваринском районе. Это еще раз доказывает отсутствие значительных миграций восточноберингоморского минтая в Наваринский район.

Линейные размеры сеголетков минтая, как и в 80-е годы прошлого столетия, не зависели от места их поимки. В июле 2004 г. не было отмечено существенных различий в длине между сеголетками из Прибыловского (2,57 см), Матвеевского (2,42 см) и Наваринского (2,51 см) районов. Причем самые северные – наваринские – сеголетки были крупнее более южных матвеевских, но мельче прибыловских. В случае значительного переноса сеголетков вдоль Восточно-Берингоморского шельфа и склона в северо-западном направлении самые старшие и, следовательно, крупные сеголетки должны бы были быть занесены наиболее далеко на север.

Особенности размерно-возрастного состава минтая свидетельствуют, с одной стороны, о специфических условиях обитания в пределах каждого района, с другой – об отсутствии значительного обмена особями между районами, который мог бы нивелировать наблюдаемые различия.

Группы особей, обитающие в сходных условиях, сходным образом реагируют на изменения окружающей среды. Величины индексов органов являются интегральными показателями метаболических процессов, происходящих в организме, а их динамика в онтогенезе и по сезонам отражает особенности пластического и генеративного обмена в самом обобщенном виде.

Нерест восточнокамчатского минтая проходит в более ранние сроки, чем нерест минтая из Олюторского залива и Наваринского района. В связи с этим сезонный гонадогенез у минтая Петропавловско-Командорской подзоны опережает таковой у минтая из более северных районов. В октябре–ноябре 2003 г. ГСИ самок здесь составляли 7,36; самцов – 9,55 %, тогда как в Наваринском районе этот показатель был равен 4,22 и 5,02 % соответственно. На северо-востоке моря также отмечается связь величины ГСИ с климато-океанологическими особенностями обитания. В июле 2004 г. в более теплом Прибыловском районе относительная масса гонад минтая превышала таковую у минтая более холодного Матвеевского района, а в последнем была больше, чем в еще более северном – Наваринском. Такие адаптации гонадогенеза могли возникнуть только при условии относительно постоянного обитания особей каждого из районов в их пределах и отсутствия протяженных миграций.

Сравнение печеносоматического индекса минтая по районам обитания показывает, что в более холодных районах, где нагульный период короче, рассматриваемый морфофизиологический индикатор ниже. Минтай из самого северного района Берингова моря – Наваринского – имеет наименьшие значения индекса печени. Меньший относительный размер печени наваринского минтая в начале нагульного периода указывает также

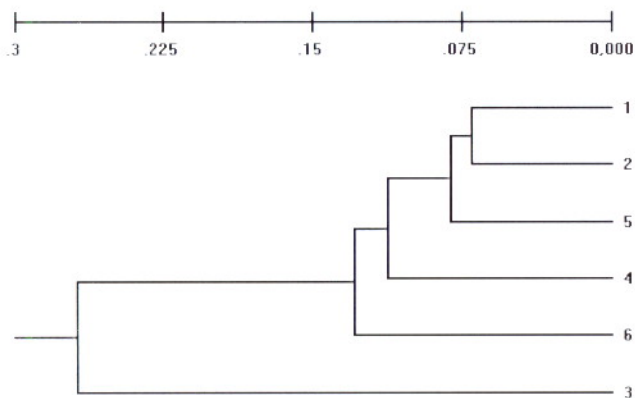
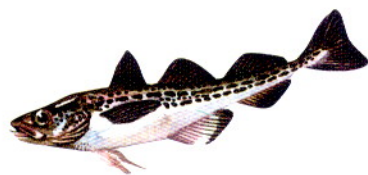


Рис. 1. Дендрограмма UPGMA генетических дистанций *Nei* между различными скоплениями минтая. Выборки: 1 – ширшовская; 2 – олюторская; 3 – северокурильская; 4 – карагинская; 5 – наваринская; 6 – восточноберингоморская

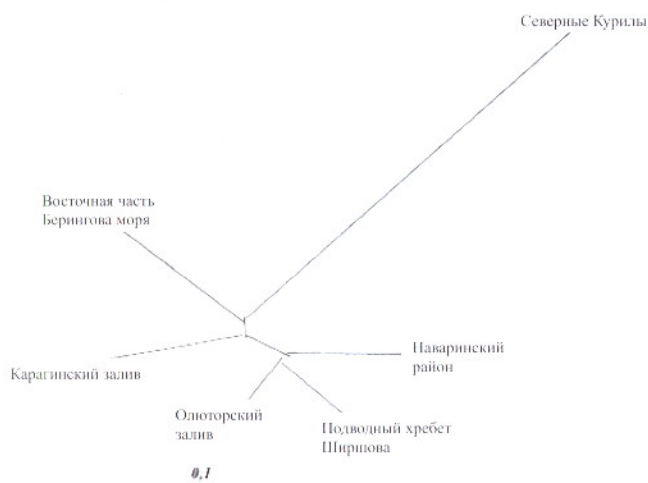


Рис. 2. Неукорененное древо генетических дистанций *Nei* между различными скоплениями минтая

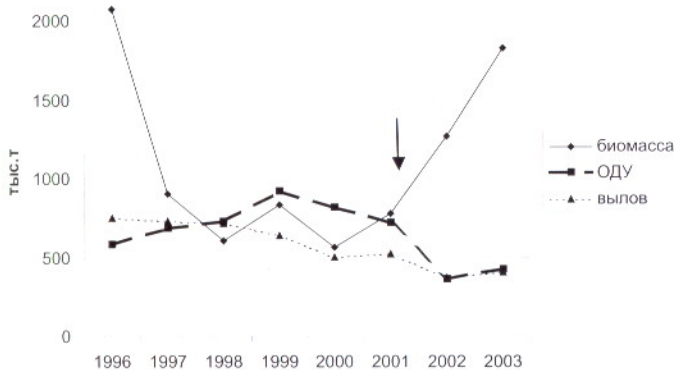


Рис. 3. Биомасса, ОДУ и вылов минтая в Западно-Берингоморской зоне (стрелкой обозначено начало применения нового подхода при расчете ОДУ)

на то, что в этом районе нерест завершается позже всего и поэтому запасные питательные вещества еще не успевают накопиться в печени к июню-июлю. Таким образом, динамика величины печеносоматического индекса минтая Берингова моря и прилегающих вод через изменения интенсивности и направленности метаболизма отражает физиологические адаптации особей к конкретным станциям.

Биологические исследования структуры североберингоморских скоплений минтая были дополнены исследованиями полиморфизма ДНК, включая микросателлитные последовательности. Работы были направлены на осуществление генетической «паспортизации» нерестовых скоплений минтая.

Микросателлитные последовательности ДНК в качестве маркеров пространственно-временного распределения запасов минтая могут дать наиболее объективную картину в связи с обнаруженным у них высоким уровнем полиморфизма, отражающим повышенную частоту мутаций. В случае хотя бы частичной изоляции популяций генетические маркеры с быстро эволюлирующими генами могут аккумулировать различия в более короткие сроки. Если анализ медленно эволюлирующих генов, например, кодирующих белки, может показать популяционные различия, сформировавшиеся за период от десятков тысяч до нескольких миллионов лет, то анализ микросателлитных локусов может выявить различия, возникшие за период менее 10000 лет.

Для исследования были выбраны девять микросателлитных локусов: *Tch5*, *Tch10*, *Tch12*, *Tch13*, *Tch14*, *Tch15*, *Tch18*, *Tch19* и *Tch22*. Анализ дифференциации популяций проводили по генотипическим вариантам, аллельному разнообразию и вариансам генных частот. Количественной оценкой степени дифференциации популяций является стандартизованная дисперсия генных частот ( $F_{st}$ ). Дистанции *Nei* являются производными от дистанций, определенных в единицах  $F_{st}$ . Прослеживается четкая зависимость величины генетических дистанций от географической удаленности скоплений друг от друга. В пределах Берингова моря максимальные различия генетических дистанций *Nei* отмечены между наваринским и восточноберингоморским минтаем – 0,0627. Небольшие отличия (0,0011–0,0150) получены между минтаем из Карагинского залива и районов подводного хребта Ширшова и Коряжского нагорья. Максимальные генетические дистанции отмечены для северокурильского минтая: от 0,089 (дистанция с ширшовской выборкой) до 0,157 (дистанция с восточноберингоморской выборкой) (*Shubina et al., 2004*). Уровень дифференциации свыше 0,018 принят типичным для популяций морских рыб с сильным дрейфом генов. Проверка на соблюдение закона Харди-Вайнберга подтвердила генетическое равновесие группировок. Кластерный анализ, выполненный на основании генетических дистанций *Nei*, представлен на рис. 1 и 2.

Совокупность данных по биологии, морфофизиологическим адаптациям, морфологии; различия уровня гетерозиготности микросателлитов ДНК минтая и соблюдение равновесия Харди-Вайнберга позволяют среди исследованных группировок выделить северокурильскую (восточнокамчатскую), западноберингоморскую, наваринскую и восточноберингоморскую популяции минтая.

Применение разработанного во ВНИРО нового подхода при прогнозировании состояния наваринского минтая как самостоятельной единицы запаса повысило оправданность прогноза. Если в период с 1996 по 2000 г. доля освоения ОДУ минтая в Западно-Берингоморской зоне изменялась от 127,6 (1996 г.) до 61,6 (2000 г.) %, то в 2002 – 2004 гг. оправданность прогноза составляла 96,7–101,3 %. Новые меры регулирования промысла (ОДУ; восстановление промысловой меры; введение запрета на промысел в период нереста; увеличение минимального разрешенного размера ячеи тралов и др.), введенные в соответствии с представлениями об обитании в северной части Берингова моря независимой популяции, подтвердили их адекватность популяционной структуре минтая и в числе прочих причин способствовали восстановлению наваринского запаса минтая (рис. 3).