

**ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ НА СИСТЕМУ
«БИОГЕНЫ – ПЛАНКТОН –
ПЕЛАГИЧЕСКИЕ РЫБЫ –
РЫБНЫЙ ПРОМЫСЕЛ»**

В.С. Латун

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: lee@alpha.mhi.iuf.net

Выполнен анализ известных и вероятных экстремальных воздействий на экосистему Чёрного моря. Показаны последствия промысла дельфинов и переловов пелагиды и хамсы. Предложены способы учёта в эколого-экономических моделях неблагоприятных сочетаний факторов влияния. Намечены тактика и стратегия развития математического моделирования экологических процессов.

"Почему, зная фундаментальные физические законы, мы не можем предсказывать поведение простейших биологических объектов?"

С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий [1].

Ускоренному развитию математической биологии способствует компьютеризация методов численного решения многомерных нелинейных задач. Рабочим инструментом анализа проблем рационального природопользования становится математическое моделирование эколого-экономических процессов [2, 3]. Проводимые биологами таксономические, физиологические и этологические исследования компонентов морских биоценозов дали математическому моделированию необходимый стартовый материал. Для развития моделей необходима формализация большего количества причинно-следственных зависимостей и трофических связей, для верификации результатов моделирования нужны дополнительные массивы натуральных данных. От степени адаптации математической модели к наблюдавшемуся ранее диапазону экстремальных экологических условий зависит прогностический потенциал модели. Целенаправленная координация теоретических и эксперимен-

тальных исследований ускорит развитие эколого-экономических моделей.

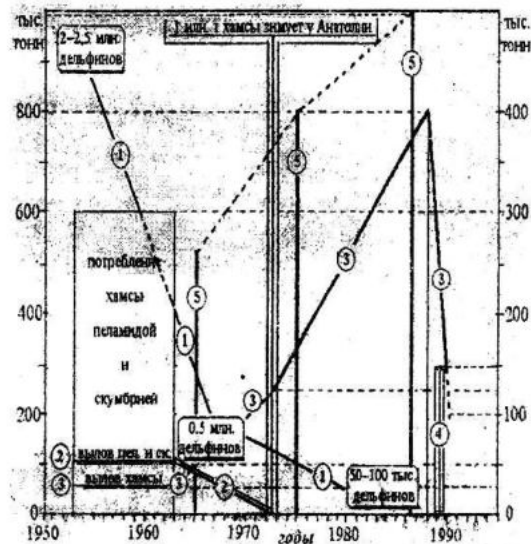
Актуальность разработки многокомпонентных моделей возросла с увеличением антропогенного влияния на экосистемы. Цель выполняемой работы – для экологических условий тёплого времени года на северо-западном шельфе Чёрного моря (СЗШ) выделить возможные экстремальные воздействия на экосистему, проанализировать эффективность используемых способов их формализации и наметить направления развития модели системы «биогены – планктон – пелагические рыбы – рыбный промысел».

Усиление антропогенных воздействий на экосистему. Значительные трудности в разработке эколого-экономических моделей связаны с учётом многообразных форм влияния природы и человека на функционирование морских экосистем. Антропогенные воздействия на биотические и абиотические компоненты экосистемы Чёрного моря начало быстро усиливаться с середины прошлого века.

Под влиянием интенсивного промысла черноморских дельфинов, их численность за 15 лет, к 1966 году, уменьшилась с 2 – 2,5 млн. до 500 тыс. особей. Несмотря на прекращение промысла в Болгарии, СССР и Румынии, количество дельфинов и далее уменьшалось из-за их массового отстрела, который в Турции продолжался, по крайней мере, до 1978 г.

В 1969 г., когда дельфинов в Чёрном море осталось не более 400 тыс., на жиромучную фабрику в Трабзоне поступило для переработки около 100 тыс. забитых дельфинов из числа маточного поголовья. В 1983 – 1984 гг. численность черноморских дельфинов уже не превышала 50–100 тыс. особей. К 1972 г. в Чёрном море были исчерпаны промысловые запасы пелагиды и скумбрии. К 1984 г. на СЗШ деградировал биоценоз филлофорного поля Зернова. В 1986 – 1990 гг. хищнический вылов хамсы привёл к коллапсу её биомассы (рис. 1, 2) [4 – 6]. Промысловую атаку на хамсу возглавляли турецкие рыбаки, оснащённые самыми современными, специализированными орудиями лова [7]. Турецкие власти располагали теми данными о ди-

наиме вылова и размерной структуре вылавливаемой хамсы, которые позволяли предвидеть и, в значительной мере, предотвратить катастрофические последствия проводимой, вначале очень прибыльной, операции. Эти данные были опубликованы только в 1993 г. [8], когда коллапс биомассы хамсы и приходных статей финансового бюджета турецкой рыбной отрасли был уже не только свершившимся, но и, в общих чертах, известным фактом. Заметим, что уменьшение биомассы хамсы сопровождалось соответствующим увеличением промысловых запасов шпрота, механизированные способы лова которого ещё не получили большого развития.



Р и с.1. Изменчивость характеристик объектов промысла: 1 — численность дельфинов, 2 — вылов пелагиды и скумбрии, 3 — вылов хамсы, 4 — биомасса нерестующей хамсы, 5 — промысловые запасы шпрота

Как видим, антропогенные воздействия на экосистему Чёрного моря неоднократно приводили к катастрофическим изменениям в биоценозе. Призывы обеспечить устойчивое развитие рыбного промысла сегодня могут относиться только к вылову шпрота, большой промысловый запас которого вчера практически не использовался. Задача восстановления былых рыбных запасов Чёрного моря потребует больших интеллектуальных и организационных усилий. Одним из основных способов решения таких задач является разработка специализированных эколого-экономических моделей.

Смысл используемых терминов. В математической экологии продолжается дефиниция основных терминов. Уточним смысл терминов, которые используются нами при разработке эколого-экономических моделей.

Экология — междисциплинарная отрасль научных знаний, системными методами изучающая взаимоотношения микроорганизмов, растений и животных между собой и со средой их обитания.

Биотоп: морская акватория с определённым океанологическим режимом.

Биоценоз: отвечающее условиям биотопа и народнохозяйственной деятельности сообщество растений, животных и человека, связанных между собой потоками энергии и вещества.

Экосистема: определённый биотоп с характерным для него биоценозом.

Экстремальные воздействия на экосистему: возмущения одного или нескольких компонентов экосистемы, которые, не разрушая биоценоза, приближают его характеристики к исторически известным пределам их изменчивости.

Катастрофические воздействия на экосистему: возмущения одного или нескольких компонентов экосистемы, которые выводят её характеристики за исторически известные пределы их изменчивости и могут быть симптомами разрушения биоценоза.

Экологический фактор: основная характеристика процесса, влияющего на динамику определённого компонента экосистемы и через него — на всю экосистему.

Экзогенный экологический фактор: характеристика внешнего по отношению к экосистеме процесса, влияющего на её состояние, но не испытывающего обратного влияния (интенсивность прямой солнечной радиации на поверхности моря, скорость течения, высота волн, объём материкового стока и др.).

Эндогенный экологический фактор: характеристика внутреннего процесса в экосистеме, связанного прямыми и обратными зависимостями с характеристиками других внутренних процессов (вылов рыбы, концентрация биогенов, плотность взвеси, таксис рыб и др.).

Концептуальная модель экосистемы: графическая или вербальная схема

функциональных связей между компонентами экосистемы.

Эколого-математическая модель: решение системы дифференциальных уравнений с соответствующими начальными и граничными условиями.

Эколого-экономическая модель: эколого-математическая модель, в которой дополнительно формализован промысел пелагических рыб.

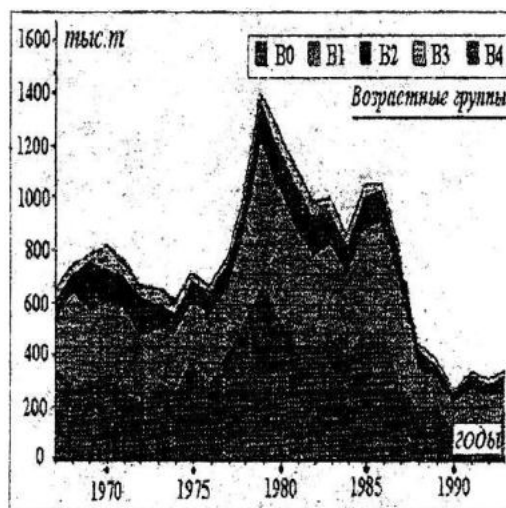
Адекватность модели: степень выполнения поставленных перед моделью задач и возможности её дальнейшего развития.

В контексте данной работы включение человека в биоценоз соответствует характеру воздействия его деятельности на экологические процессы. Влияние рыбного промысла на природные компоненты биоценоза аналогично влиянию такого хищника, который практически безвозвратно элиминирует из экосистемы большое количество активного органического вещества. Вылов рыбы – эндогенный фактор, поскольку между характеристиками промысловой индустрии и биомассой объектов промысла существуют прямая и обратная зависимости.

Ранжирование экологических факторов. Успехи эколого-математического моделирования во многом зависят от правильной оценки относительного влияния различных факторов на изменчивость характеристик биоценоза. Располагая такими оценками, можно было бы из множества факторов учитывать только "основные" и надеяться на получение результатов с определённой погрешностью. К сожалению, даже при моделировании жизнедеятельности отдельной популяции, устойчиво ранжировать факторы влияния не удаётся. Она из причин возникающих сложностей заключается в том, что относительное влияние конкретного фактора может значительно изменяться при небольших изменениях других факторов, включая "второстепенные". В разветвлённом, многоуровневом биоценозе количество и подвижность трофических связей увеличиваются, что повышает гомеостатическую устойчивость системы и усложняет её моделирование.

Проиллюстрируем сказанное примером из недавних экологических событий

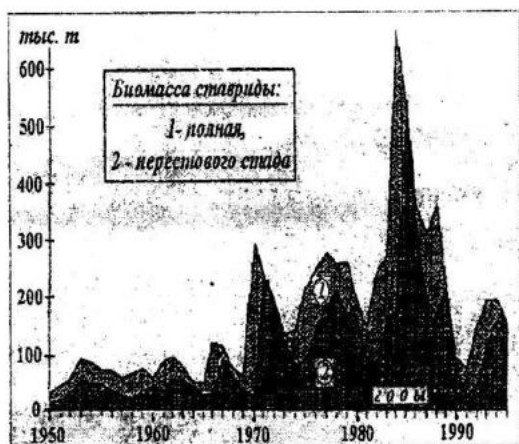
в Чёрном море. В 1979 г., когда численность нацеленного на промысел хамсы турецкого флота увеличилась в четыре раза и продолжала расти прежними темпами, биомасса хамсы перед началом зимовального периода достигла максимума в 1400000 тонн. Осенью 1983 г., на фоне межгодового уменьшения биомассы готовой к зимовке хамсы, наблюдался её промежуточный минимум, фундаментом которого является минимум биомассы сеголеток (рис.2). Чем он вызван? Для ответа на этот вопрос необходимо проанализировать динамику, как урожайности хамсы, так и трофических отношений между компонентами биоценоза. Зная генезис явления, можно попытаться формализовать его механизм в имитационной модели.



Р и с. 2. Изменчивость биомассы хамсы перед началом зимовального периода [9]

Численность икринок хамсы зависит от температуры морской воды. Выживаемость предличинок хамсы, на стадии их перехода от желточного питания к потреблению мелких форм фитопланктона, зависит от обеспеченности необходимой пищей, на концентрацию которой тоже влияют известные экзогенные факторы [2]. Хамса и шпрот питаются копеподами, пищевая конкуренция между ними может обостряться в начале гидрологического лета, до миграции шпрота на центральную акваторию СЗШ [10]. Рацион ставриды разнообразен, и в отдельные годы сеголетки ставриды питаются, в основном, личинками хамсы (до 90% потребляемой пищи) [11]. Данные

об изменчивости биомассы половозрелой ставриды и её полной биомассы показывают, что в период с 1950 по 1995 г. абсолютный максимум этих двух показателей (в 2–3 раза превосходивший известные ранее) наблюдался в 1984–1985 годах (рис. 3). Возможен вывод: минимум биомассы сеголеток хамсы вызван поеданием её личинок сеголетками ставриды. Почему же в 1979 г., когда урожай хамсы был максимальным, а биомасса половозрелой ставриды и её полная биомасса имели второе по величине максимальное значение, пресс сеголеток ставриды на личинки хамсы был незаметен? Ответ надо искать в изменчивости многих факторов, влияющих и на репродукционный потенциал хамсы, и на выживаемость её икринок и предличинок, и на рацион ставриды.



Р и с. 3. Изменчивость биомассы ставриды [9]

Как преодолеть трудности, возникающие при попытках ранжировать экологические факторы? Методология однофакторного и многофакторного экспериментов для показателей жизнедеятельности организма определённой популяции даёт результаты, непригодные для наших целей. Механистическая парадигма классической физики, по сути, неприменима при изучении морских экосистем. Экологические факторы — это изменяющиеся во времени и в пространстве характеристики сложнейшего комплекса гидрофизических, гидрохимических и биологических процессов. Каждый экологический фактор говорит нечто о состоянии экосистемы, на изменение каждого фактора (тем более, нескольких) биоценоз реагирует, как

живое вещество: "Живое вещество биосферы есть совокупность живых организмов, в ней живущих" [12].

Для изучения морской экосистемы, самой сложной из известных систем, вместо картезианско-ньютонической парадигмы классической физики нужна новая естественнонаучная парадигма и, соответственно, иной математический инструментарий. До их появления автор использует два взаимодополняющих подхода: 1. Анализирует динамику и последствия тех "экспериментов" над экосистемой, которые проводят и "бездушная" природа изменчивостью своих процессов, и одухотворенный *Homo sapiens* своим, всё более неразумным, "природопользованием". Этот подход основан на совместном рассмотрении пространственно-временной изменчивости всех известных экологических факторов, причём в качестве реперных точек используются экстремальные значения биотических факторов. 2. Применяет эвристический метод, то есть, опираясь на известный или предполагаемый вид функциональных связей, изменчивостью коэффициентов настраивает базовый вариант математической модели на адекватно-устойчивое функционирование в типичных экологических условиях.

Успех использования этих двух методик зависит от полноты знания экологических процессов на конкретной акватории и адекватной направленности вычислительных экспериментов.

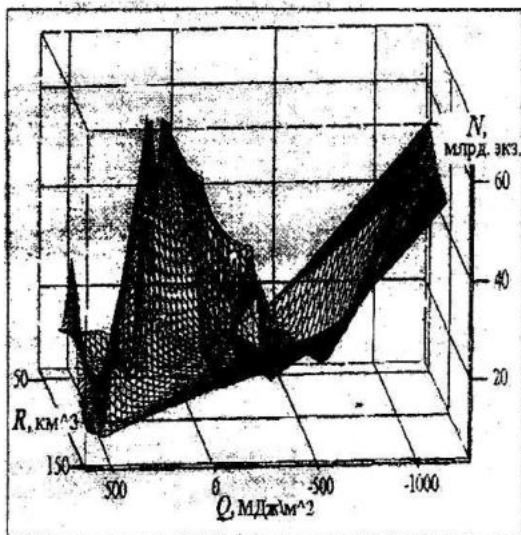
Экологические особенности СЗШ. Биотоп пелагической части СЗШ находится под сильным распресняющим и эвтрофирующим воздействием речного стока. Влияние речных вод зависит от их объёма, концентрации биогенов, процессов смешения морской и речной воды, а также от пути и скорости распространения образовавшихся вод пониженной солености и повышенной концентрации биогенов из прибрежной зоны в открытое море. На СЗШ основными районами смешения морской и речной воды являются Днепровский лиман, Одесская банка и район устья Дуная — остров Змеиный. Согласно среднемноголетней схеме течений, к юго-западу от мыса Ланжерон воды пониженной солености движутся

вдоль берега в струе Основного черноморского течения (ОЧТ). Стрежень ОЧТ удален от берега на 15–20 миль, его ширина равна 5–10 милям, скорость достигает 50 см/с. Винтообразная поперечная циркуляция в ОЧТ и подход с востока медленного течения более соленых вод, приводят к обострению гидрологического фронта на мористой границе ОЧТ. Во все сезоны года здесь наблюдается соленосный и плотностной фронты, в холодный сезон – также и температурный фронт. Внутригодовой ход речного стока Дуная обуславливает максимальный размах сезонных перепадов солености на поверхности прибрежных вод от 8–12‰ в мае, до 15‰ в январе. Западная граница пелагиали СЗШ проходит над изобатами 20–25 м. Восточнее этой границы летом сохраняется холодный придонный слой, а среднедекадная соленость на поверхности изменяется от 14 до 17‰. На открытой акватории СЗШ значительная изменчивость компонентов экосистемы в тёплое время года вызвана неоднократными поступлениями с запада распределенных и эвтрофированных прибрежных вод. Причиной прорыва этими водами фронтальной зоны являются умеренные и сильные ветры юго-западного октанта. Соответствующее течение устанавливается за 10–15 часов действия ветра. За нескольких суток течение переносит большие объемы прибрежной воды далеко на восток. В маловетренную погоду восточнее ОЧТ фоновое течение (≈ 5 см/с) направлено на запад [13–15].

Как связаны эти экзогенные факторы с возможными экстремальными воздействиями на экосистему пелагиали СЗШ? Воды квазипериодических ветровых течений восточного направления отличаются пониженной солёностью и высокой концентрацией биогенов и планктона. При развитии таких течений значительно увеличивается площадь акватории с благоприятными условиями для нагула и нереста той популяции хамсы, рыбы которой нерестятся в водах с солёностью не выше 10–15‰ [11]. В связи с межгодовой изменчивостью погодных условий, количество, интенсивность и длительность восточных ветровых течений

могут изменяться в широких пределах. При усилении влияния этих факторов, площадь акватории с благоприятными условиями для нагула хамсы, ставриды и нереста хамсы увеличивается, при ослаблении – уменьшается. Соответственно изменяется вектор скорости кормового и нерестового таксиса хамсы и кормового таксиса ставриды. Когда атмосферные процессы протекают таким образом, что умеренных и сильных ветров ЮЗ октанта в тёплое время года мало, то акваторией нагула и нереста будет сравнительно узкая полоса прибрежных вод. В этих условиях урожайность хамсы может быть меньшей, а концентрация икры, личинок, сеголеток и взрослой хамсы – большей. Если, при этом, биомасса ставриды велика, как в 1984 г. (рис. 3), и её сеголетки питаются преимущественно личинками хамсы, а годовики – молодь хамсы, то становится понятной одна из возможных причин рассмотренного ранее промежуточного минимума в межгодовой изменчивости биомассы хамсы.

На урожайность хамсы могут влиять и другие экзогенные факторы. Предшествующие атмосферные процессы определяют изменчивость теплозапаса морской воды Q в апреле и суммарного объёма эвтрофированных вод речного стока R в мае–июне. От этих характеристик зависят сроки цветения и урожайность фитопланктона, которые, в свою очередь, влияют на выживаемость личинок хамсы, а значит, и на численность молоди хамсы N в августе (рис. 4), и на биомассу кормового зоопланктона. В зависимости от сочетаний величин Q и R величина N может, как видно из рисунка, изменяться в 6 раз. Само по себе такое уменьшение численности сеголеток хамсы в прошлом не имело катастрофических последствий для биоценоза, но они могут наступить, если после уменьшения пополнения будут организованы переловы. Отсюда очевидная практическая рекомендация: если в июле уже известен крайне неблагоприятный прогноз по ожидаемому пополнению хамсы, на предстоящие один-два промысловых сезона следует планировать уменьшение её вылова.



Р и с. 4. Зависимость численности молоди хамсы в августе (N) от теплозапаса морской воды в апреле (Q) и суммарного стока основных рек в мае–июне (R). (СЗ часть Чёрного моря, 1954–1976 гг.)

Отсутствуют подробные натурные данные о влиянии восточных ветровых течений на пространственно-временную изменчивость компонентов системы «биогены – планктон – пелагические рыбы – рыбный промысел» в тёплое время года на СЗШ. Течения можно рассчитать по атмосферному давлению или скорости ветра, но чтобы получить нужные сведения о компонентах системы, необходимо силами специально организованной экспедиции в ускоренном порядке выполнить большой комплекс трудоёмких работ. Модельные эксперименты показали, что ослабление или отсутствие таких течений в середине одного тёплого сезона приводит к экстремальным, но не катастрофическим последствиям для системы [3].

Экологическую обстановку могут дополнительно ухудшить гипоксия холодного придонного слоя и заморные явления, вызванные уменьшением вентилируемости вод центральной акватории СЗШ. Но настоящая катастрофа произойдёт, если к перечисленным факторам добавится аварийный выброс большого количества загрязнителей (нефтепродукты, химикаты и прочее) в Одесском заливе, где расположены два больших порта и нефтяной терминал. В этом случае загрязнители попадут в

структуру ОЧТ и, при слабом разбавлении, будут перенесены к истоку верхнего течения в проливе Босфор.

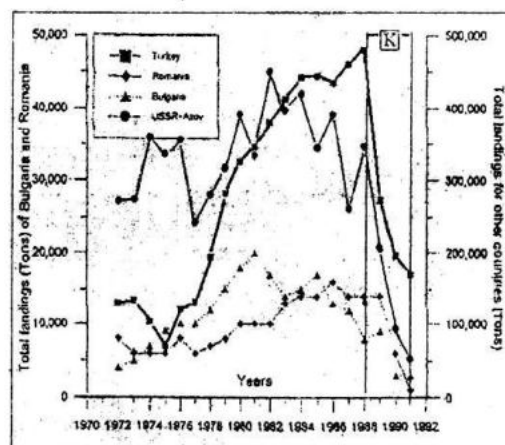
Какие воздействия на биоценоз СЗШ окажут эти, совпавшие по времени, процессы? В полосе прибрежных вод шириной около 30 миль, в которой с удалением от берега солёность увеличивается от 10–12 до 14–16 ‰, погибнет фитопланктон, зоопланктон, ихтиопланктон и значительное количество молоди пелагических рыб. Пострадает придонная экосистема. В этих условиях для пелагических рыб, успевших покинуть зону бедствия, на прилегающих акваториях не будет достаточной кормовой базы.

Ещё не разработана эколого-экономическая модель с учётом таких сочетаний природных и антропогенных процессов, которые, каждый в отдельности, не будучи экстремальными, могут иметь катастрофические последствия для экосистемы СЗШ. Но основная часть подготовительной работы уже проделана. Потоки энергии в системе «биогены – планктон – пелагические рыбы – рыбный промысел» формализованы с учётом экономики и динамики рыбного промысла, физиологических особенностей и таксиса пелагических рыб, а также влияния нестационарных течений на пространственно-временную изменчивость солёности и концентрации биогенов. Предложенные виды формализации, кроме предлагаемой в настоящем сборнике формализации жизнедеятельности и промысла шпрота, уже использованы в последовательно усложняемых моделях [2, 3, 16].

Не вызывает сомнений факт, что за последние десятилетия промысел дельфинов и продолжительные переловы рыб (пеламиды, скумбрии, хамсы) привели к катастрофическим изменениям биоценоза Чёрного моря. По результатам моделирования, даже разовый значительный перелов хамсы надолго выводит биоценоз из устойчивого состояния [2]. Но каков механизм катастрофического влияния продолжительных переловов на популяции промысловых рыб, на структуру биоценоза? Вспомним хронику истребления промысловых запасов пеламиды и хамсы.

Почему черноморская пелагида перестала быть промысловой рыбой. Черноморская пелагида (*Sarda sarda*) – самостоятельная популяция тепловодных пелагических рыб семейства скумбриевых. В тёплое время года черноморская пелагида приходит в Черном море для нагула и нереста, на зимовку она мигрирует в Мраморное и Эгейское моря. Промысел пелагида кошельковыми неводами начал развиваться с 1952–1953 гг. (сначала в Турции). Влияние растущего вылова пелагида на межгодовую изменчивость биомассы и возрастной структуры популяции быстро увеличивалось. Показательна судьба поколения пелагида высокоурожайного 1954 г. Сеголетки этого поколения летом 1955 г., уже в качестве половозрелых годовиков размерами 40 – 50 см, вернулись в Чёрное море и составили, по численности, более 88 % нерестового стада пелагида. В течение 4 лет пелагида урожая 1954 г. возвращалась на нерест в Чёрном море и была основой репродукционного потенциала. В 1958 г. около 80 % нерестового стада составляли четырёхлетки и более 82 % рыб имели среднюю длину 60 см. Пелагида живёт до 8–10 лет, достигая 1 м длины и 10 кг веса. С возрастом плодовитость самок резко увеличивается, поэтому можно было ожидать, что и в последующие годы начавшийся тренд сохранится. Не сохранился, потому что этому помешал хищнический вылов пелагида. Её поколение 1954 г. было изъято промыслом в течение последующих 4 лет. За эти годы суммарный вылов черноморской пелагида составил 214,1 тыс. т, из которых на долю Турции пришлось 186,5 тыс. т [5]. С 1959 г. вылов пелагида черноморскими странами резко сократился, причём рыбаки Болгарии и Турции перешли на промысел сеголеток во время их осенней миграции в Мраморное море. Проведение весенней путины стало экономически невыгодным. Весной в Чёрное море возвращалось всё меньше черноморской пелагида, а пополнения её промысловых запасов за счёт прихода пелагида средиземноморских популяций не происходило. В начале семидесятых годов прошлого столетия черноморская пелагида утратила своё промысловое значение.

Причина коллапса биомассы хамсы. Хамса (черноморский анчоус: *Engraulis encrasicolus ponticus* Alex) теплолюбива, её основной нагульной и нерестовой акваторией был СЗШ. Отсюда хамса осенью мигрировала и к южному берегу Крыма и, большей частью, к азиатскому побережью, где образовывала плотные зимовальные скопления. Надежные измерения биомассы зимующей здесь хамсы проведены специальной акустической аппаратурой в конце марта 1972 года. Было установлено, что уже после путины в прибрежных водах Турции зимовало миллион тонн хамсы [5]. И с 1975 г. началось ускоренное усиление турецкого рыболовного флота крупнотоннажными сейнерами с кошельковыми неводами и специальными сонарами для прицельного обмётывания зимующей хамсы, а также насосами для перекачивания хамсы из невода на борт судна. За одну операцию сейнера с таким вооружением из моря изымалось до 300 т разновозрастной хамсы. К 1992 г. турецкая флотилия таких сейнеров насчитывала около 270 единиц. С 1984 года, когда биомасса половозрелой хамсы вследствие продолжающегося перелова уменьшилась на 200 тыс. т, её уловы в Болгарии, Румынии и СССР начали сокращаться (рис. 5).

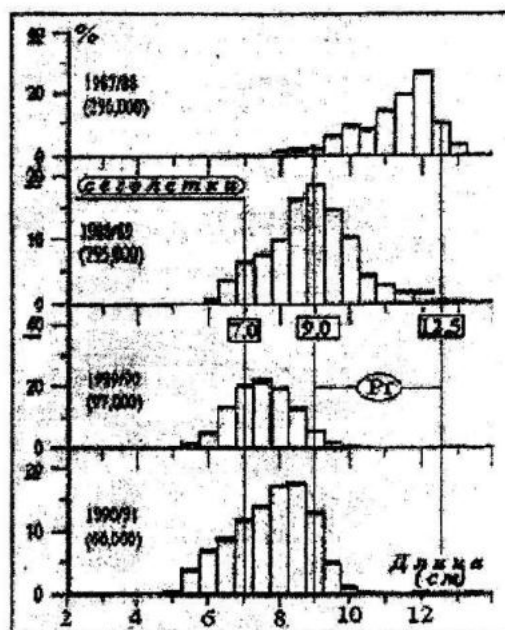


Р и с. 5. Вылов рыбы в Чёрном море [6]. С 1975 г. вылавливалась, в основном, хамса. К–годы коллапса её биомассы и репродукционного потенциала.

В острой фазе антропогенного коллапса хамсы биомасса её нерестового стада всего за один год, начиная с мая 1987 г., уменьшилась с 510 до 220 тыс. т.

Но Турция, благодаря увеличению числа современных промысловых судов и переходу к вылову рыбеи молоди, ещё в течение двух промысловых сезонов удерживала вылов хамсы на уровне около 295 тыс. т. За путину 1987 / 88 гг. из популяции хамсы были изъяты рыбы наиболее продуктивных размерных групп длиной от 9,5 до 13,0 см, причём 30 % выловленных рыб имели длину 12 см. Следующей зимой в улов попали, в основном, рыбы длиной от 6,5 до 11,0 см, 66 % из них имели длину менее 9 см. Таким образом, эксплуатационный запас хамсы был опасно уменьшен и продукционный потенциал предстоящего нерестового сезона был серьёзно подорван. В этих условиях логично было задуматься над дилеммой: приостановить, или существенно сократить добычу хамсы? Но инерция хищничества велика и к промысловому сезону 1989 / 90 гг. турецкая армада специализированных судов была усилена (её довооружение прежними темпами прослеживается до 1992 года). Надежд (и финансовых затрат) результаты промысла не оправдали. Вылов хамсы за год уменьшился с 295 тыс. т до 97 тыс. т, причём 80 % выловленных рыб имели размеры от 6,5 до 8,5 см [6]. Зимой 1990 / 91 гг. усилился пресс промысла на сеголеток размерами от 5,5 до 6,5 см, но и это не помогло, — документированный вылов хамсы упал до 66 тыс. т (рис. 6).

Как видим, промыслом всё в большей мере изымалась та часть популяции, которой в ближайшие годы предстояло стать основой нерестового стада хамсы. Под влиянием переловов, всего за три года, суммарная биомасса половозрелой хамсы перед началом нерестового периода уменьшилась в 3,5 раза [6], опустившись в 1990 году до абсолютного минимума в 150 тыс. т. Таким был удар промысла по репродукционному потенциалу хамсы. Результаты рыбного промысла показывают [17], что и через 20 лет после антропогенного коллапса хамсы её популяция находится в депрессивном состоянии.



Р и с. 6. Изменчивость уловов и размерной структуры хамсы, добытой турецкими рыбаками за путины 1988 / 89 – 1990 / 91 гг. [6]. (Рг — интервал наиболее продуктивных размерно-возрастных групп.)

Тактика и стратегия дальнейших исследований. *Тактика:* Максимально использовать возможности разрабатываемых моделей для проведения вычислительных экспериментов по имитации изучаемых экологических процессов во многих концептуально обоснованных вариантах. Анализировать результаты, обращая пристальное внимание на правдоподобные, но ранее не наблюдавшиеся экстремальные изменения в структуре биоценоза. При очередной модернизации разрабатываемой эколого-экономической модели в явном виде имитировать динамику биогенов и промысел шпрота.

Стратегия. От принципа Гельмгольца (малое количество объектов, простая формулировка взаимодействий между ними) переходить к системному принципу: большое число объектов, сложная система взаимодействий между которыми определяется множеством нелинейных нестационарных процессов. Необходимо детализировать концептуальную модель экосистемы, отразив все возможные функциональные связи между её компонентами и, прежде всего, те из них, которые, будучи потенциально значимыми, ещё не формализованы в мате-

математических моделях. В процессе развития эколого-экономической модели оценивать возможное влияние ранее учтённых процессов на развитие экстремальных экологических ситуаций. Проверять изменение действия на экосистему различных сочетаний учтённых и не учтённых ранее факторов влияния. Искать эффективные формы параметрического учёта факторов влияния в агрегированном виде, искать способы автоматического изменения состава агрегации и значимости отдельного фактора в зависимости от динамики экологических процессов. По сути, стратегия развития эколого-математического моделирования должна заключаться в переходе от методов математической физики к методам математической биологии. Переход трудный, но другого пути нет.

Принципам структурной организации и функционирования сложных саморегулирующихся систем нам надо учиться у живой природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика – наука самоорганизации / Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. – М.: Наука, 1988. – С. 79 – 136.
2. Еремеев В.Н., Тимченко И.Е., Васечкина Е.Ф., Игумнова Е.М., Латун В.С., Ярин В.Д. Системное моделирование морских эколого-экономических процессов. – Севастополь: «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. – 428 с.
3. Иванов В.А., Игумнова Е.М., Латун В.С., Тимченко И.Е. Модели управления ресурсами прибрежной зоны моря. – Севастополь: «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. – 258 с.
4. Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Шушкина В.А. Экосистема Чёрного моря. – М.: Наука, 1992. – 112 с.
5. Основы биологической продуктивности Чёрного моря / В.Н. Грезе. – Киев: Наукова думка, 1979. – 392 с.
6. Gisi A.C. Role of fishing in the Black Sea ecosystem / Sensitivity to change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea. Netherlands: K1. Academic Publishers, 1997. – P.149–162.
7. Anon. Determination and quantification of fishing gears and technology in Black Sea. MARA of Turkish Republic, Research Institute of Aquatic Products. Trabzon. – 1992. – 106 p. (in Turkish).
8. Anon. Fishery Statistics 1989–90. State Ins. of Statistics. Prime Ministry of Turkish Republic. – 1993. No. 15X3.
9. Prodanov K., Mikhailov K., Daskalov G., at all. Environmental impact on fish resources in the Black sea / Sensitivity to change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea. – Netherlands: K1. Academic Publishers, 1997. – P. 163–181.
10. Виноградов К.А., Розенгурт М.Ш., Толмазин Д.М. Атлас гидрологических характеристик СЗ части Чёрного моря (в рыбопромысловых целях). – Киев: Наукова думка, 1966. – 96 с.
11. Сырьевые ресурсы Чёрного моря. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 323 с.
12. Вернадский В.И. Научная мысль как планетарное явление. – М.: Наука, 1991. – 271 с.
13. Латун В.С. Морские прибрежные экотоны Украины // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа (памяти академик НАН Украины В.И.Белыева посвящается). – Севастополь, 2001. – С. 98–110.
14. Еремеев В.Н., Латун В.С., Совга Е.Е. Влияние антропогенных загрязнителей и путей их переноса на экологическую обстановку в северо-западном районе Чёрного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2001. – № 5. – С. 41–55.
15. Толмазин Д.М., Шнайрман В.А., Ациховская Ж.М. Проблемы динамики северо-западной части Чёрного моря. – Киев: Наукова думка, 1969. – 130 с.
16. Латун В.С. Влияние вылова ставриды на изменчивость компонентов системы «фитопланктон – зоопланктон – анчоус – ставрида – промысел ставриды» // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – С. 234–239.
17. Заика В.Е. Черноморские рыбы и летопись их промысла. – Севастополь: «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – 120 с.