

УДК 004.94:519.1+639.3:6.9.2

Г.Н. Жолткевич¹, К.В. Носов¹, Ю.Г. Беспалов¹, Е.В. Высоцкая², А.П. Порван²¹ Харьковський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків² Харьковський національний університет радіоелектроніки, Харків

ДИСКРЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТНОШЕНИЙ РАЗМЕРНЫХ КЛАССОВ В ПОПУЛЯЦИИ ТРЕСКИ

Разработка новых подходов к созданию информационных технологий поддержки принятия решений в сфере рыбного промысла актуальна в связи с критическим состоянием популяций многих промысловых рыб. В работе представлены результаты формализованного описания с помощью дискретных моделей динамических систем структуры отношений размерных классов популяции трески. Полученные результаты могут быть использованы в автоматизированных системах поддержки принятия решений в сфере рыбного промысла.

Ключевые слова: популяция промысловых рыб, структура отношений, дискретные модели динамических систем.

Введение

Постановка проблемы. Математическое моделирование и новейшие информационные технологии (ИТ) играют важную роль в промысловой ихтиологии, в частности, – в связи с анализом отношений таких аспектов биопродукционных процессов как численность, состояние кормовой базы и биоэнергетических параметров такого важного объекта промысла, как атлантическая треска [1, 2]. При разработке указанных ИТ важную роль может играть математическое моделирование состояния рыбных популяций, использующее такие их сравнительно легко определяемые параметры, как размерный состав, возможности для чего создают дискретные модели динамических систем.

Анализ литературы. Нарушение стабильности указанных биопродукционных процессов порой имеет серьезные социальные и экономические последствия, примером чего может служить канадский "тресковый кризис" 1992 года [2]. Это обстоятельство, наряду с масштабами промысла, обуславливает необходимость значительных затрат и усилий по сбору исходного фактического материала для исследований, в том числе – с использованием ИТ и математического моделирования, в сфере промысловой ихтиологии. Оптимизация этих затрат достаточно давно является предметом дискуссий как в научных, так и в деловых кругах [3]. Это стимулирует поиски более простых и дешевых методов сбора указанного фактического материала, в частности, с использованием математического аппарата, позволяющего использовать для описания факторов, обуславливающих характер динамики исследуемых систем на основе массивов информации, имеющих лакуны и не отражающих последовательность состояний этих систем в реальном времени.

Такую возможность дает использованный уже для описания структуры отношений и динамики компонентов систем на разных уровнях организации живой материи [4-8], обладающий мировой новизной, разработанный в Харьковском национальном университете имени В. Н. Каразіна оригинальный класс математических моделей, получивший название дискретные модели динамических систем (ДМДС). На основе структуры корреляций между компонентами системы ДМДС позволяет представить, в виде матрицы или графа, структуру, обусловленных негативными и позитивными влияниями, отношений между компонентами системы – из перечня: "+,+", "-,-", "+,-", "+,0", "-,0", "0,0", а также симметричных внутрикомпонентных отношений: "+,+ ", "-,- ", "0,0". На основании указанной структуры межкомпонентных и внутрикомпонентных отношений могут быть исследованы характерные черты динамики исследуемой системы, в частности – путем анализа идеализированной траектории системы (ИТС), построенной для определенных начальных значений компонентов и данной структуры их отношений. ИТС позволяет в серии условных шагов по времени представить идеализированный цикл изменений состояний системы, отражающий [8, 9] некоторые существенные характерные черты ее реальной динамики.

В рамках затронутой проблематики представляется имеющим теоретический и практический интерес использование ДМДС для исследования возможностей применения в промысловой ихтиологии, подходов, трактующих отношения между размерными классами популяции рыб, в частности – трески, в качестве косвенного, грубого, но относительно легко измеряемого показателя влияния роста особей на обеспеченность их кормом. Что и является предметом настоящей статьи.

Целью статьи является освещение результатов исследования с использованием оригинального класса математических моделей – ДМДС, структуры отношений размерных классов популяции трески.

Материал и методика

ДМДС проводилось с использованием корреляций по Спирмену и подхода, основанного на законе Либиха [4] на основе фактического материала из литературных источников [10] о взвешенных рядах размеров трески южной части Баренцова моря, зафиксированных в 1927-38 годах и распределении численностей четырех размерных классов. По длине тела выделялись следующие классы: 20-40 см (L20-40), больше 40-60 см (L40-60), больше 60-80 см (L60-80), больше 80-100 см (L80-100). При моделировании с применением ДМДС в роли компонентов систем выступали указанные размерные классы. Для удобства использования в ДМДС со спирменовской корреляцией фактических данных, приведенных в [9] графиков средневзвешенные количества экземпляров трески, соответствующие точкам графиков, выражались в баллах: нуль баллов при нулевом количестве экземпляров, а во всех других случаях количество баллов было равно ближайшему на числовой оси целому числу, большему или равному одной десятой числа экземпляров, отмеченного в данной точке графика. Для каждого размерного класса в определенном году определялось простое среднее арифметическое числа баллов, определенных для точек соответствующего участка соответствующего графика.

Полученные результаты

В результате проведенного с помощью ДМДС моделирования для двух групп годов, условно именуемых далее "высокоурожайными" и "низкоурожайными", были построены, представленные на рис. 1 и 2, графы отношений вышеуказанных размерных классов, где в прямоугольниках – размерные классы; стрелки – межкомпонентные влияния (прерывистые – позитивные, сплошные – негативные, сплошные и замкнутые на прямоугольники – внутрикомпонентные негативные влияния).

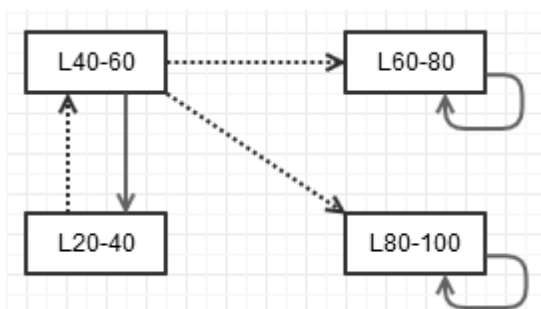


Рис. 1. Граф отношений размерных классов в "высокоурожайные" годы

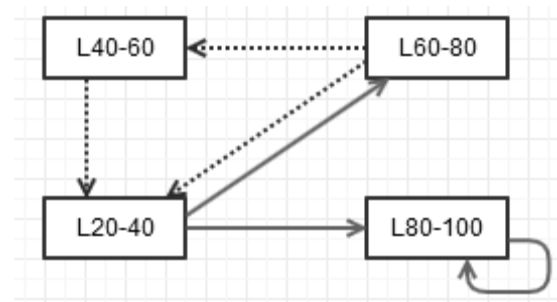


Рис. 2. Граф отношений размерных классов в "низкоурожайные" годы

В группу "высокоурожайных" (ГВУ) вошли 1932, 1934, 1935, 1936 и 1937 года, когда число рыб в среднем годовом улове за час траления превышало 300, в группу низкоурожайных (ГНУ) вошли 1927, 1928, 1929, 1930, 1931 и 1938 года, когда этот показатель был существенно ниже (118-271).

В графе, построенном на фактическом материале ГВУ, видим позитивное влияние L20-40 на L40-60, а также L40-60 на L60-80 и на L80-100, что может быть объяснено тем, что при высоких значениях численности более мелких возрастных классов, за счет роста входящих в них особей, растет численность более крупных классов. Присутствующее в этом же графе негативное влияние на L20-40 высоких значений L40-60 может быть объяснено конкуренцией этих двух классов: близких не только по размерам, но и по составу своей кормовой базы, по ассортименту организмов, которыми они питаются. Размерные классы L60-80 L80-100 не оказывают друг на друга никакого ни позитивного ни негативного влияния, в графе, представленном на рисунке 1, для этих самых крупных размерных классов можно отметить лишь негативные внутрикомпонентные влияния, что может быть истолковано как признак их, этих крупных размерных классов, достаточно выраженной пищевой специализации. Что благоприятно для роста численности и биомассы популяции, в которой увеличение числа крупных размерных классов (формирующих лучшую часть улова) не подрывает кормовую базу более мелких размерных классов (рост особей которых пополняет более крупные размерные классы). В целом для графа, построенного на материале ГВУ, характерно минимальное наличие признаков, связанных с конкуренцией между размерными группами, в частности - за пищу. Хорошим состоянием кормовой базы может быть объяснено и отсутствие позитивных влияний на L20-40 более крупных размерных классов L60-80 L80-100. Такие позитивные влияния могли бы быть связаны с важной ролью высоких численностей крупных размерных классов в репродуктивных процессах, способствующих пополнению более мелких размерных классов. Отсутствие же таких позитивных влияний может говорить о том,

что относительно невысокая численность производителей может компенсироваться их высокой плодотворностью, тесно связанной с хорошими условиями нагула.

В представленном на рис. 2, построенном на фактическом материале ГНУ, графе отношений видим позитивные влияния на L20-40 как L40-60, так и L60-80, а также позитивное влияние на L40-60 L60-80, что может интерпретироваться как показатель того, что численность более крупных возрастных групп, даже - независимо от степени их упитанности, в данной ситуации, играет важную роль в интенсивности репродукционных процессов, за счет которых пополняются более мелкие размерные группы. Для близких размерных классов более реалистичным представляется другое объяснение: крупные классы стимулируют мелкие за счет уничтожения их пищевых конкурентов – рыб других видов и собственной молоди с размерами, меньшими, чем у представителей размерного класса L20-40 .

В связи с наличием пищевой конкуренции между размерными классами следует отметить наличие в графе, построенном на материале ГНУ, негативных влияний L20-40 на L60-80 и L80-100.

При сравнении графов, построенных для ГВУ и ГНУ, следует обратить также внимание на наличие в них контуров, ослабляющих отклонения (КОО). Такие контуры, функционирующие за счет непосредственной связи типа "+,-" между двумя компонентами, присутствуют и в случае ГВУ (связь между L20-40 и L40-60), и в случае ГНУ (связь между L20-40 и L60-80). Но в случае ГВУ роль сдерживающего фактора играет, по-видимому, пищевая конкуренция между близкими размерными классами, в случае ГНУ - между более удаленными, удаленность которых могла бы способствовать лучшему использованию популяцией в целом кормовой базы – за счет более выраженной пищевой специализации размерных классов. Кроме того, в случае ГНУ в графе наличествует еще одно КОО - функционирующее за счет опосредованных связей между L20-40, L40-60 и L60-80, способствующее, с одной стороны – стабилизации системы, с другой сдерживанию роста до очень высоких (как и – снижению до очень низких) значений численности популяции.

Для определенных начальных условий, в соответствии с видом графов отношений, представленных на рис. 1 и 2, были построены ИТС, представленные в табл. 1 и 2, соответственно.

В отличие от случая ГВУ в случае ГНУ внутрикомпонентное негативное влияние наблюдается только для L80-100, что говорит о меньшей в случае ГНУ пищевой специализации крупных размерных классов и о большей выраженности внутривидовой конкуренции за пищу с ухудшением условий нагула.

Таблица 1

Идеализированная траектория системы, отражающая динамику изменений значения численностей размерных классов трески, построенная для ГВУ

Классы объектов по длине тела	Номера условных шагов по времени							
	1	2	3	4	5	6	7	8
L20-40	2	3	3	3	2	1	1	1
L40-60	1	1	2	3	3	3	2	1
L60-80	1	1	1	1	2	2	2	2
L80-100	1	1	1	1	2	2	2	2

Эти особенности структур отношений, присущие графам, представленным на рис. 1 и 2, обуславливают различия в характере динамики популяции трески, достаточно хорошо, на наш взгляд, согласующиеся с "урожайным" характером ситуации, в которой происходило развитие ГВУ и "неурожайным" – в случае ГНУ.

Таблица 2

Идеализированная траектория системы, отражающая динамику изменений значения численностей размерных классов трески, построенная для ГНУ

Классы объектов по длине тела	Номера условных шагов по времени									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L20-40	1	1	1	1	1	2	3	3	3	2
L40-60	1	1	1	2	3	3	3	3	3	2
L60-80	1	2	3	3	3	3	3	2	1	1
L80-100	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1

Обсуждение результатов

Представленная в табл. 1 ИТС, построенная для случая ГВУ, демонстрирует минимальное совпадение максимумов L20-40 и L40-60 (на одном - четвертом шаге), что вполне соответствует присутствующей на рис. 1 в графе отношений, построенном для случая ГВУ, связи типа "+,-" между этими размерными классами.

Из этой же идеализированной траектории системы видно, что с достижением максимальных для данной идеализированной траектории системы трехбалльных значений L20-40 на втором условном шаге по времени начинается рост значений L40-60, сменяющийся снижением после шестого

шага, на котором L20-40 принимает минимальное однобалльное значение, но притом после четвертого шага, на котором L40-60 достигает максимального трехбалльного значения, начинается снижение значений L20-40, что соответствует характеру динамики, вытекающему из отношений типа "+,-", наличествующих между этими размерными классами в случае ГВУ. Эти аспекты вида ИТС могут трактоваться как свидетельства того, что: с одной стороны - размерный класс L20-40, принимая высокие значения, за счет роста части входящих в него особей пополняет размерный класс L40-60, с другой существует пищевая конкуренция между этими двумя близкими по возрасту размерными классами.

Достижение на четвертом шаге L40-60 максимальных трехбалльных значений вызывает рост значений L60-80 L80-100, который сменяется снижением после восьмого шага, на котором L40-60 принимает минимальные однобалльные значения, что может объясняться пополнением двух самых крупных размерных классов за счет роста особей, входящих в состав размерного класса L40-60.

Такому пополнению должна способствовать хорошая обеспеченность этого класса пищей, для чего важно и отсутствие признаков негативного, за счет пищевой конкуренции, влияния на L40-60 более крупных размерных классов L60-80 L80-100.

Представленная в табл. 2 ИТС, построенная для случая ГНУ, демонстрирует довольно значительное совпадение максимумов L20-40 и L40-60 (на трех - седьмом, восьмом, девятом шагах), что согласуется с зафиксированным на рис. 2 отсутствием в этом случае отношений типа "+,-" между этими размерными классами.

Но при этом, в отличие от случая ГВУ наблюдается позитивное воздействие не L20-40 на L40-60, а, наряду с позитивным действием L60-80 позитивное действие на L20-40 размерного класса L40-60, выражающееся в росте L20-40 после достижения, на пятом условном шаге по времени максимальных трехбалльных значений L40-60 при сохранении таких значений, достигнутых размерным классом L60-80 на третьем шаге, что, наряду с указанными выше аспектами структуры построенного для случая ГНУ графа отношений, может трактоваться как свидетельство пополнения численности меньших размерных классов за счет участия больших размерных классов в репродукционных процессах.

Аналогичная трактовка возможна для начала роста L40-60 после достижения на третьем шаге максимальных трехбалльных значений L60-80.

Снижение на седьмом условном шаге по времени значений L60-80 и L80-100 после достижения L20-40 максимальных трехбалльных значений

может свидетельствовать о наличии в случае ГНУ пресса пищевой конкуренции на более крупные размерные классы со стороны более мелких. Особенностью ИТС, построенной для случая ГНУ, в сравнении с таковой, построенной для ГВУ, является большая доля в цикле шагов, в которых не наблюдается хотя бы один максимум значений размерных классов, что может быть объяснено наличием в случае ГНУ и отсутствием в случае ГВУ (описанного выше при анализе структуры соответствующего графа) КОО функционирующего за счет опосредованных связей между L20-40, L40-60 и L60-80.

Как видно из табл. 2 этот КОО тормозит рост размерных классов L20-40 и L60-80, обусловленный непосредственными отношениями типа "+,-" между ними.

Представленные в настоящей статье результаты проведенного с использованием ДМДС моделирования, базирующиеся на весьма малом объеме фактической информации и рассматриваемые авторами как предварительные, не противоречат сложившимся на сегодняшний день в промысловой ихтиологии [1, 2] представлениям о процессах, определяющих динамику и отношения численности рыбной популяции, ее размерного состава и обеспеченности ее кормом.

Вместе с тем, эти результаты, внося, за счет применения дискретных моделей динамических систем, дополнительные новые нюансы в систему этих представлений, позволяют, на наш взгляд, надеяться на возможность разработки, с применением ДМДС, использующих фактический материал только о размерном составе рыбных популяций, новых информационных технологий для поддержки принятия, по крайней мере, предварительных решений в сфере рыбного промысла. Речь может идти о таких, сравнительно мало затратных способах сбора фактического материала, как анализ коммерческой информации о размерном сортаменте рыбной продукции или цифровое фотографирование с борта легких беспилотных летательных аппаратов скоплений рыбы на мелководьях или в верхних слоях воды.

Можно, на наш взгляд, наряду с указанным прикладным, говорить и об некотором теоретическом значении полученных результатов не только для промысловой ихтиологии, но и для других областей биологической науки.

Выводы

Таким образом, результаты работы показывают принципиальную возможность на основе анализа структуры графов отношений размерных классов трески с применением дискретных моделей динамических систем, дать объяснение периодов с

высокими и низкими значениями вылова на рыболовное усилие.

Эти результаты открывают возможности разработки методов оценки состояния популяции рыб – сравнительно грубых, но притом базирующихся на таких относительно мало затратных методах получения исходного фактического материала, как коммерческая отчетность и цифровая фотография с борта легких беспилотных аппаратов.

Использование полученных результатов представляется целесообразным, в частности, в структурах, разрабатывающих новейшие информационные технологии поддержки принятия решений в сфере рыбного промысла.

Список литературы

1. Marshall C.T. Reconstructing the stock-recruit relationship for Northeast arctic cod using a bioenergetic index of reproductive potential [Text] / C.T. Marshall, N.A. Yaragina, B. Adlandsvik, A.V. Dolgov // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2000. – Vol.57. – P. 2433 – 2442.
2. Marshall C.T. Deriving condition indices from standard fisheries databases and evaluating their sensitivity to variation in stored energy reserves [Text] / C.T. Marshall, C. Needle, N.A. Yaragina, A. Aijad, E.V. Gusev // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2004. – Vol. 61. – P. 1900 – 1917.
3. Rothschild B.J. Dynamics of marine fish populations [Text] / B.J. Rothschild – London: Harvard University Press, Cambridge, Mass, 1986 – 277 p.
4. Zholtkevych G.N. Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Anthropogenic Eutrophication. [Text] / G.N. Zholtkevych, Y.G. Bespalov, K.V. Nosov, M. Abhishek // *Acta Biotheoretica.* – 2013. – 61 (4). – P. 449 – 465.
5. Исследование гелиобиологических эффектов с помощью дискретной модели динамических систем с обратными связями. [Текст] / Ю.Г. Беспалов, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов, В.С. Марченко, Г.П. Марченко [и др.] // VIII Международная Гамовская летняя астрономическая школа “Астрономия на стыке наук:

астрофизики, космология, радиоастрономия, астробиология”. – 2008. – P. 12–13.

6. Висоцька О.В. Вплив природних і антропогенних факторів на формування якості рослинної продукції [Текст] / О.В. Висоцька, А.П. Порван, А.Л. Петухова, А.Н. Некос, П. В. Семибратова // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія "Екологія"*. – Х.: ХНУ, 2012. – Вип. 7, № 1004. – С. 79 – 90.

7. Беспалов Ю.Г. Дискретная модель системы с отрицательными обратными связями. [Текст] / Ю.Г. Беспалов, Л.Н. Дереча, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов // *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні Технології. Автоматизовані системи управління»*. – Х.: ХНУ, 2008. – №833. – С. 27 – 38.

8. Gorodnyanskiy I. Discrete Dynamical Modeling of System Characteristics of a Turtle's Walk in Ordinary Situations and After Slight Stress. [Text] / I. Gorodnyanskiy, Y. Bespalov, G. Zholtkevych, I. Zaretskaya [etc.] // *Бионика интеллекта.* – 2011. – 3 (77). – С. 54 – 59.

9. Порван А. П. Прогнозирование течения atopического дерматита у детей с использованием дискретного моделирования динамических систем. [Текст] / А.П. Порван, Е.В. Высоцкая, Ю.Г. Беспалов, К.В. Носов, В.А. Клименко [и др.] // *Восточно-Европейский Журнал Передовых Технологий.* – 2014. – 3/4 (69). – С. 21 – 25.

10. Маслов Н.А. Прогноз сырьевой базы и условий тралового промысла: долгосрочные и краткосрочные прогнозы. [Текст] / Н.А. Маслов // *Тр.ПИИРО.* – 1957. – Вып. X. – С. 15.

Поступила в редколлегию 31.05.2016

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. А.И. Бых, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ДИСКРЕТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ВІДНОСИН РОЗМІРНИХ КЛАСІВ В ПОПУЛЯЦІЇ ТРІСКИ

Г.М. Жолткевич, К.М. Носов, Ю.Г. Беспалов, О.В. Висоцька, А.П. Порван

Розробка нових підходів до створення інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в сфері рибного промыслу актуальна у зв'язку з критичним станом популяцій багатьох промислових риб. У роботі представлені результати формалізованого опису за допомогою дискретних моделей динамічних систем (ДМДС) структури відносин розмірних класів популяції тріски. Отримані результати можуть бути використані в автоматизованих системах підтримки прийняття рішень в сфері рибного промыслу.

Ключові слова: популяція промислових риб, структура відносин, дискретні моделі динамічних систем.

DISCRETE MODELING OF DYNAMIC SYSTEMS OF RELATIONS OF SIZE CLASSES IN COD POPULATIONS

G.N. Zholtkevych, K.N. Nosov, Yu.G. Bespalov, E.V. Viysotskaya, A.P. Porvan

Development of new approaches to information technology decision support in the field of fisheries is relevant in view of the critical state of many populations of commercial fish. The results of the formalized description of using digital models of dynamic systems (DMDS) structure relations size classes of cod populations. The results can be used in automated systems for decision support in the field of fisheries.

Keywords: commercial fish species populations, the structure of relations, discrete models of dynamic systems.