ОБЗОР КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В БИОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЫ ECOPATH WITH ECOSIM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРОФИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В ЭКОСИСТЕМЕ

А.В. Мацюра, М.В. Мацюра
Мелитопольский государственный педагогический университет

Данное программное обеспечение было спроектировано, чтобы помочь ученым, занимающимся экологическими исследованиями, в конструировании простых или сложных моделей трофических потоков в экосистеме. Несмотря на достаточно большой опыт использования программы, только несколько обзоров ее применения было опубликовано (Polovina, 1984a, 1984b; Christensen, 1997).

Главным достоинством подобной модели является детальнейший обзор пищевых взаимодействий и ресурсов в экосистеме. При помощи программы Ecopath можно детально проанализировать экосистему, а использование Ecosim позволяет симулировать эффекты изменений в рыболовном промысле и оценить относительное влияние рыболовства на окружающую среду.

Характеристики водных экосистем преобладают в данной программе, потому что подход, на котором базируется моделирование, был изначально отработан на морских и пресноводных экосистемах, но эта программа может быть применена для исследования наземных экосистем, например, агроценозов (Dalsgaard, Oficial, 1995).

Методы и их обсуждение

Система Ecopath построена на подходе, изначально представленном J.J. Polovina (1985) для оценки биомассы и пищевого потребления элементов (видами или группой видов) водной экосистемы. Программное решение базируется на предсказании движения и аккумуляции загрязнителей и маркеров в пищевых сетях. Основная единица модели – группа экологически связанных видов, один вид или определенная группа видов одного размера или возраста. В модели вход и выход энергии всех групп должен быть сбалансирован.

Согласно основному предположению модели, продукция слагается из: *хищничество + улов + миграция + накопленная биомасса + другая смертность*. После некоторых преобразований баланса массы между группами баланс энергии выражается уравнением: *потребление = продукция + дыхание + неусвоенная пища*.

Во многих случаях рассматриваемый временной период интерпретируется как сезон или год, но состояние и оценки, используемые для модели, могут относиться к различным годам. Модели могут охватывать десять и более лет, в течение которых произошли небольшие изменения. Когда экосистемы претерпевают массивные изменения, нужны как минимум две модели, чтобы отразить состояние экосистемы до, во время и после изменений.

Главная проблема состоит в том, что, оценивая реализм программного обеспечения имитационного моделирования, мы оцениваем не сложность программы и процессов, которые представлены в ней, а насколько она позволяет представить основные особенности экосистемы при ограниченном количестве вводимой информации.

Программа содержит несколько практических приложений. Приложение 1 представляет некоторые понятия, относящиеся к построению трофических моделей экосистемы, предложенные теоретическими экологами (Ulanowicz, Puccia, 1990; Ulanowicz, 1995), и обычно используемые современными ихтиологами. Приложение 2 представляет определения главных показателей экосистемы, представленных Christensen (1996). Цель приложений – не заменить источники, из которых эти определения были взяты, а облегчить их понимание. Технические детали, описывающие ряд алгоритмов, в которых использованы уравнения для оценки определенных параметров, представлены наряду с комментариями и описаниями в Приложении 3 и Приложении 4.

Программа Ecosim предсказывает временные изменения в потоках биомассы среди живых и детритных систем, используя функциональные нелинейные взаимоотношения между скоростями потока массы-энергии и обилием взаимодействующих видов. Динамические уравнения такого пассивного потока (накопления или биоамплификации) отличаются от уравнений скорости потока биомассы и фактически являются динамичными линейными уравнениями первой степени с зависящими от времени коэффициентами, которые зависят от скорости потока биомассы. Эти уравнения первой степени относительно легки, чтобы решить их параллельно с уравнениями динамики биомассы в Ecosim.

В среде Ecosim можно выполнить параллельное моделирование движения одного маркера или загрязнителя, в то время как решаются уравнения динамики биомассы. Предполагается, что молекулы маркера находятся в среде или в биоте (в биомассе и детритных системах) в любой момент времени. Следующее предположение – молекулы распространяются между системами с мгновенными скоростями, равными вероятности отбора их как части потока биомассы: *мгновен-*

ная скорость = (поток) / (биомасса в донорской экосистеме).

Возможности программы позволяют смоделировать прямые потоки биомассы из окружающей среды в экосистему, что соответствует прямому поглощению или абсорбции искомого материала (загрязнителя, маркера, пищевого компонента). Подобные модели можно выполнить для различных уровней и скоростей разложения, распада (гниения) и экспорта биомассы экосистемой и окружающей ее средой.

В уравнении скорости концентрации загрязнителя в экосистеме (водоеме) *i* эти компоненты представлены следующим образом:

1) пищевое поглощение: $C_j \cdot GC_i \cdot Q_{ji}/B_j$ где C_j – концентрация в пище *j*, GC_i – пропорция пищи, ассимилированная организмами экосистемы *i*; Q_{ji} – скорость потока биомассы от *j* к *i* (определяемое в Ecopath как $B_i \cdot (Q/B)_i \cdot DC_{ij})i$, B_j – питательная часть биомассы *j*;

2) прямое поглощение окружающей средой: $u_i \cdot B_i \cdot C_o$, где u_i – параметр, отражающий поглощение биомассы в единицу времени и в единицу концентрации в окружающей среде, B_i – биомасса, C_o – концентрация в окружающей среде;

3) концентрация в иммигрирующих организмах: $c_i \cdot I_i$, где c_i – параметр (вещество в единице биомассы иммигрирующих организмов), I_i – биомассы иммигрантов водоема *I* в единицу времени;

4) хищничество: $C_i \cdot Q_{ij}/B_i$, где C_i – концентрация в водоеме *i*, Q_{ij} – интенсивность потребления организмов вида *i* хищниками вида *j*, B_i – биомасса в водоеме *i*.

5) детрит: $C_i \cdot MO_i + (I-GC_i) \cdot S_{ij} \cdot C_j \cdot Q_{ji}/B_j)$, где MO_i – естественная скорость смерти организмов вида *i* (за год), GC_i – ассимилированная пропорция потребляемой пищи, Q_{ji} – скорость поглощения биомассы вида *j* биомассой вида *i*;

6) эмиграция: $e_i \cdot C_i$, где e_i – скорость эмиграции (за год);

7) метаболизм: $d_i \cdot C_i$, где d_i – скорость метаболизма и распада вещества, находящегося в пределах водоема.

Пользователи должны конкретизировать некоторые параметры (используя ввод данных через подпрограмму *Ecotracer*):

а) начальные концентрации продуктов наземного происхождения C_i, в том числе концентрации в окружающей среде C_o;

б) скорость прямого поглощения u_i в единицу времени, биомассы и по отношению к C_o;

в) концентрацию по отношению к биомассе c_i в иммигрирующих организмах;

г) скорости метаболизма/распада d_i.

Некоторые параметры (GC_i, MO_i) уже входят или могут быть рассчитаны в Ecopath, потоки Q_{ij} рассчитываются динамически в Ecosim. Пользователи могут также внести данные входа и выхода биомассы (дисперсия/адвекция с окружающей средой), а также скорость распада для абиотической концентрации C_o.

Программа Ecospace динамически размещает биомассу через координатную сеть (выполняется пользователем и по умолчанию определенную как карта из 20 x 20 ячеек) с учетом:

1) симметричные движения от ячейки к ее четырем смежным ячейкам, со скоростью m, зависящей от того, определена ли ячейка как “предпочтительное местообитание” или нет;

2) пользователь может увеличить риск хищничества и уменьшать пищевую норму для имитации неблагоприятной среды обитания;

3) уровень промыслового усилия пропорционально распределен в каждой ячейке к полной прибыльности лова рыбы в этой ячейке и может быть сделан чувствительным к затратам.

Ecospace позволяет пользователям исследовать потенциальную роль морских охраняемых областей (MPAs) как инструмента для уменьшения и ликвидации различных негативных эффектов лова рыбы на экосистемы, в частности эффекта ухудшения морских пищевых сетей.

Результаты, полученные рядом авторов (Wulff, Ulanowicz, 1989; Christensen, Pauly, 1991, 1995; Pauly, Christensen, 1993), свидетельствуют, что, благодаря эффектам пищевых каскадов в пределах морских охраняемых территорий (в силу охранного режима биомасса хищников возрастает) и движений хищников в направлении наибольших концентраций пищевой биомассы (т. е. за пределы охранных территорий), наблюдается так называемый “сетевой эффект” небольшой морской охраняемой территории. Он состоит в том, что происходит увеличение объемов рыболовств, которые неизменно концентрируют свое действие по периметру подобной охраняемой территории.

Только большая морская охраняемая территория с коротким внешним периметром относительно ее площади поверхности может быть защищена от этого воздействия, например территории в бухтах или заливах с ограниченным примыканием к промышленно эксплуатируемым областям.

Выводы

Программа Ecospace все еще нуждается в дополнительных исследованиях для того, чтобы сделать ее полезным и мощным инструментом исследования многих водных экосистем. Наш опыт работы с программой свидетельствует, что в анализ необходимо включать данные ориентированной миграции (сезонной и онтогенетической) и территориальной дисперсии, что значительно улучшит определение отличий в трофических потоках для различных типов местообитаний. Данный подход более выигрышный, в сравнении с комплексным анализом Ecopath.

Для этого также потребуется соединить выделенные типы мест обитания с различными биотическими факторами (например, биомасса кораллов или придонных морских водорослей) и физическими особенностями этих местообитаний.

Безусловно, применение этих уточнений пока во многом определяется программными требованиями, но именно они и позволят сделать детальные параметризации более доступными для всех пользователей Ecopath.

Литература

Christensen V. (1996): Managing fisheries involving top predator and prey species components. - Reviews in Fish Biology and Fisheries. 6: 417-442.

Christensen V. (1997): Flow modeling with ECOPATH: providing insights on the ecological state of agroecosystems. Kluwer Academic Publishers. 203-212.

Christensen V., Pauly D. (1991): The South China Sea: analyzing fisheries catch data in an ecosystem context. - NAGA, the ICLARM Quarterly. 14 (4): 7-9.

Christensen V., Pauly D. (1995): Fish production, catches and the carrying capacity of the world oceans. - NAGA, the ICLARM Quarterly. 18 (3): 34-40.

Dalsgaard J.P.T., Oficial R.T. (1995): Insights into the ecological performance of agroecosystems with ECOPATH II. - NAGA, the ICLARM Quarterly. 18 (3): 26-27.

Pauly D., Christensen V. (1993): Stratified models of large marine ecosystems: a general approach and an application to the South China Sea. - Large marine ecosystems: stress, mitigation and sustainability. Washington, DC: AAAS Press. 351-362.

Polovina J.J. (1984a): Model of coral reef ecosystems I. The ECOPATH model and its application to French Frigate Shoals. - Coral Reefs. 3 (1): 1-11.

Polovina J.J. (1984b): An overview of the ECOPATH model. - Fishbyte. 2 (2): 5-7.

Polovina J.J. (1985): An approach to estimating an ecosystem box model. - U.S. Fish Bull. 83 (3): 457-460.

Ulanowicz R.E. (1995): The part-whole relation in ecosystems. - Complex ecology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 549-650.

Ulanowicz R.E., Puccia C.J. (1990): Mixed trophic impacts in ecosystems. - Coenoses. 5: 7-16.

Wulff F., Ulanowicz, R.E. (1989): A comparative anatomy of the Baltic Sea and Chesapeake Bay ecosystems. - Network analysis in marine ecology – methods and applications. Coastal and Estuarine Studies, Vol. 32. New York: Springer-Verlag. 232-256.