

УДК 621.7

ГИБРИДНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СТРУКТУРА МОДЕЛИ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СОЦИОСИСТЕМЫ ПРИ ИНВАЗИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

А. Ю. ПЕРЕВАРЮХА¹, А. В. ПОГОДИНА²

¹Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН

²Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации
Санкт-Петербург, Россия

В междисциплинарных задачах системного анализа технобиологических процессов при построении моделей структурированного по многим признакам объекта исследования целесообразно включать логически заданные события переключений. Социосистемы испытывают инвазионное воздействие, такое как глобальные пандемии, существенно меняющие экономику общественной жизни и привычные маршруты перемещения. Для моделирования сложных групповых эффектов необходимо включение событийности и логики переопределений для уравнений и представление вариативности моделирующей системы для разных групп. Эпидемии различно влияют на социальные группы [1]. Инвазионные процессы очень вариативны. Биологические популяции в процессе эволюции образуют изолированные группировки, позволяющие осваивать ограниченные ресурсы. Эксплуатация сложных объектов требует и распределенной модели.

Изолирующие механизмы, действующие на разных нерестовых реках или в пределах группы рыб одной реки, принципиально сходны. В обоих случаях это территориальная разобщенность нерестилищ и разновременность нереста. В результате создаётся экологическая дифференциация на самом важном этапе онтогенеза – периоде размножения. Генетические различия между сезонными расами – продукт их длительной эволюции популяций в конкретных условиях.

На основе разработанных представления непрерывно-событийного времени и предикативно-переопределяемых структур для биофизических процессов со стадийностью развития сформируем гибридную модель динамики формирования у новых поколений рыб по их стадиям развития, дополненную вспомогательными уравнениями I-го порядка ситуативного характера. Набор вспомогательных уравнений для сопутствующих показателей развития поколений позволяет гибко настраивать гибридную вычислительную структуру для специфических ситуаций наличия дифференциации, включения действия дополнительных факторов физической среды, связанных с влиянием температуры, скорости течения и площади их нерестилищ. Это определит технологию искусственного восстановления запасов. Модель репродуктивной активности при инвазии будем строить на основе формализации различного жизненного цикла у конкурирующих групп. Логично задать динамику численности поколений двух субпопуляционных групп двумя гибридными структурами, описывающими переходы между тремя стадиями развития у рыб.

Используем следующую организацию структуры в ранее предложенной модели формирования поколений популяции для двух групп, где стадийность будет задана различными образами [2]. Длительность стадий развития у двух

групп различается значительно из-за разных миграционных маршрутов. При разработанной инженерной технологии молодь осетровых рыб этой группы проходила обратный маршрут на пути к морю, взрослея и набирая массу в реке, но потом все равно приспособлялась к морской воде. В целях моделирования ситуации при длительной миграции особей в гетерогенной среде задействуем в гибридной системе модели выживаемости поколения от начальной численности $N(0)$ на отрезке гибридного времени [3] три стадии развития с различной формой записи убыли численности поколения: α по трем стадиям развития и общим для всех β с запаздыванием ξ . Включим уравнение для скорости роста особей $w(t)$, вспомогательное логистическое уравнение динамики кормовых организмов $g(t)$, влияющей на рост $w(t)$ особей поколения до его созревания:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = \begin{cases} -(\alpha_1 w(t)N(t) + \beta)N(t), & P_1(t); \\ -\alpha_2 N(t) / w(\tau) - \beta N(t), & P_2(t, w(t)); \\ -\alpha_3 w(t - \xi)N(t - \xi) - \beta, & P_3(t, w(t)); \end{cases} \\ \frac{dw}{dt} = \frac{g(t)}{\sqrt[3]{(N(t) + \delta)^2}}, w(0) = w_0; \\ \frac{dg}{dt} = rg(t) \left(1 - \frac{g(t)}{K} \right), g(0) = g_0. \end{cases}$$

Для второй подгруппы используем в системе уравнений стадии I и II с влиянием на убыль поколения начальной численности, добавим температурную поправку [4] и включим коэффициент потребления молодью рыб кормовых организмов. Математическая форма для записи отсчетов событий управления во времени как «гибридное иерархическое непрерывно-событийное» модельное время, как в [5] для моделирования на основе предикативно-переопределяемых структур в задачах биофизики, была описана в предыдущих работах на основе вложенных кортежей. Модель применена для анализа быстрой инвазии.

Работа выполнена в ходе реализации проекта РНФ № 23-21-00339 «Разработка методов сценарного моделирования экстремальных инвазионных процессов в экосистемах с учетом факторов противодействия на основе динамически переопределяемых вычислительных структур» в СПб ФИЦ РАН.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисова, Т. Ю.** Проблемные аспекты моделирования популяционных процессов и критерии их согласования / Т. Ю. Борисова, И. В. Соловьева // Математические машины и системы. – 2017. – № 1. – С. 71–81.
2. **Михайлов, В. В.** Модель сценария интродукции молоди рыб с учетом динамики биогенных элементов / В. В. Михайлов // Системный анализ и прикладная информатика. – 2017. – № 2. – С. 20–28.
3. **Дубровская, В. А.** Экстремальные инвазии в экосистемах: метод гибридного моделирования / В. А. Дубровская // Проблемы механики и управления. Нелинейные динамические системы. – 2018. – № 50. – С. 4–11.
4. **Perevaryukha, A. Y.** An iterative continuous-event model of the population outbreak of a phytophagous hemipteran / A. Y. Perevaryukha // Biophysics. – 2016. – Т. 61, № 2. – С. 334–341.
5. **Perevaryukha, A. Y.** A continuous model of three scenarios of the infection process with delayed immune response factors / A. Y. Perevaryukha // Biophysics. – 2021. – Т. 66, № 2. – С. 327–348.