

**Имитационная модель динамики численности и биологического разнообразия тихоокеанских лососей**

**The simulation model of dynamic of abundance and pacific salmonid biodiversity**

**Е.Э. Ширкова, Э.И. Ширков**

**Камчатский институт экологии и природопользования ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский**

Сохранение биологического разнообразия камчатских популяций лососевых рыб, в условиях их интенсивной и недостаточно контролируемой промышленной эксплуатации, представляет собой сложную управленческую задачу.

Исходя из общей концепции системного подхода, эффективность управления в любой сфере и, особенно, в такой сложной, как природопользование, зависит от того, в какой мере в управленческих решениях учитываются целостность, особенности структуры (- внутреннее разнообразие), а также многочисленные внешние связи эксплуатируемых природных комплексов.

Если эта мера достаточно высока, такое управление можно назвать системным. Только системное управление обеспечивает максимальную социально-экономическую эффективность, экологическую безопасность и долговременную устойчивость природопользования.

Именно недостаточная системность управления природопользованием вообще и эксплуатацией диких популяций лососей, в частности, является коренной причиной утраты многими популяциями этих рыб значительной части их бывшего биологического разнообразия в большинстве стран северной части Тихого Океана.

Тот факт, что на Камчатке до настоящего времени сохранилось в относительно здоровом состоянии до трети мировой популяции всех видов тихоокеанских лососей. И то обстоятельство, что камчатские популяции лососей сохранили не только видовое, но также генетическое, фенотипическое и различные формы поведенческого разнообразия, нельзя считать результатами особой успешности на полуострове изучения, охраны и управления промыслом этих чрезвычайно пластичных видов рыб. Пока это - следствие слабого развития здесь других природоиспользующих отраслей хозяйства и, до недавнего времени, - неполного охвата промыслом всех нерестовых водотоков и водоемов полуострова.

Уже начавшиеся здесь использование разнообразного минерального сырья, добыча и транспорт углеводородов, развитие гидроэнергетики, различных видов туризма, бальнеологии и, наконец, резкая интенсификация слабо контролируемого, (часто - браконьерского) лососевого промысла не только в традиционных крупных реках, но и на мелких водоемах самых труднодоступных районов полуострова, которые до сих пор служили надежными естественными убежищами для лососей, представляют собой реальную и все возрастающую угрозу биологическому разнообразию и устойчивости запасов камчатских популяций этих ценных рыб.

Поэтому, для сохранения биологического разнообразия камчатских популяций лососей в современных условиях, важно повысить системность управления хозяйственным использованием не только самих лососей, но и, в не меньшей степени, использованием всех других природных ресурсов полуострова и его шельфа.

Одной из объективных причин недостаточной системности современного управления природопользованием и территориальным развитием является неудовлетворительная информационная обеспеченность управления.

Это обусловлено, во-первых, - высокой сложностью и недостаточной изученностью многих природных систем и их важнейших структурных элементов. Информация о большинстве этих систем имеет неполный, неоднородный и, часто, противоречивый характер. А, во-вторых, - недостаточным использованием таких информационных технологий и конкретных инструментов, которые позволяли бы мобилизовать и эффективно использовать всю имеющуюся в нашем распоряжении разнородную информацию для выбора сбалансированных управленческих решений.

Такие технологии для решения ответственных, но недостаточно обеспеченных необходимой информацией задач управления сложными объектами и процессами, уже достаточно давно разработаны. В Европе они известны под названием "Системы поддержки решений" (Decision Support Systems). Эти технологии базируются на системной методологии, междисциплинарном подходе и их основном практическом инструменте - многоаспектном имитационном моделировании сложных систем.

Широкое использование в этих технологиях именно имитационного направления в моделировании, обусловлено тем, что имитационные модели наименее требовательны к полноте и степени формализации входной информации.

В рамках работы по Проекту Глобального Экономического фонда: "Сохранение и управление популяцией лососевых рыб на полуострове Камчатка" (- эколого-экономическая проблематика) нами была предпринята попытка разработки принципиальной схемы имитационной модели для прогнозирования численности и некоторых аспектов поведенческого разнообразия тихоокеанских лососей в различных условиях их естественного воспроизводства и промышленной эксплуатации.

В качестве конкретной технологии моделирования использовался язык алгоритмических сетей и программа автоматизации моделирования - САПФИР .

Алгоритмическая сеть модели показана на рисунке 1. Она представляет собой ориентированный и замкнутый в цикл граф, дуги которого отображают переменные модели, а вершины (операторы модели) - математические или логические отношения между этими переменными.

Динамика процессов здесь обеспечивается операторами задержки (Dt), которые осуществляют информационный обмен между состояниями процессов во времени.

Временной шаг модели - один год. Длительность цикла - от двух (- для горбуши) до шести (- для остальных, кроме чавычи, видов лососей) лет. Для того, чтобы модель могла работать и с чавычей, сеть необходимо просто "удлинить" на два временных периода вправо. Количество прогнозных периодов ограничивается лишь надежностью входной прогнозной информации.

Общая размерность сети \* 216 переменных. Из них входных \* 80. В том числе, переменных состояния \* 25, входных коэффициентов - 4 и временных рядов - 51. Значения входных переменных (информационная база модели) должны задаваться биологами. На этапе разработки концепции модели использовалась условная информация.

Модель реализована программно и позволяет проводить имитационные эксперименты по управлению численностью и отражаемыми аспектами биоразнообразия лососей.

В модели могут отслеживаться и прогнозироваться следующие характеристики поведенческого разнообразия конкретной популяции лососей:

- **структура популяции по продолжительности речного и морского периодов жизни ее особей;**

- структура морской части популяции по морскому "стажу" жизни ее особей;
- структура каждой возрастной группы морской части популяции по удельному весу в ней половозрелых особей;
- структура половозрелых особей каждой возрастной группы популяции по их морскому "стажу" жизни;
- и, наконец, общая возрастная структура возвращающихся на нерест лососей в каждом прогнозном периоде.

Основными факторами динамики численности и приведенных выше аспектов разнообразия моделируемой популяции в модели приняты:

- общая численность популяции и значения всех перечисленных выше характеристик её разнообразия в каждом ретроспективном периоде;
- интенсивность промысла (легального и нелегального);
- ёмкость нерестилищ, а также интегрированные значения других природных и антропогенных факторов выживания икры, молоди и взрослых особей в каждой возрастной и "стажевой" группе.

Модель может быть использована для отражения не только внутривидового, но также для межвидового, межрасового и межвидового поведенческого и фенотипического разнообразия тихоокеанских лососей.

Основной алгоритм модели (цикл) удобнее проследить, начиная с переменной n1 - численность возврата лососей на нерест в текущем периоде.

Количественное значение возврата, после его сравнения с емкостью нерестилищ водоема - (ЕНн) и с учетом возможного объема браконьерского промысла - (н4), определяет общий допустимый улов - (н5). В зависимости от дефицита - (н7), или избытка - (н9) обрабатывающих мощностей, эксплуатирующих данную популяцию предприятий, а также от степени "законопослушности" - (н10) в соблюдении лимитов вылова предпринимателей, на нерест может быть пропущено больше, или меньше нормы производителей - (н15). И в зависимости от заполняемости нерестилищ - (н19), а также от ряда других факторов - (н20, н23, н24), определяющих условия нереста и выживаемости икры в данном периоде, в следующем временном периоде произойдет выклев - (н26) и разделение выжившей молоди - (н28) на ту часть, которая остается в пресной воде - (н30) и ту, которая скатывается в море - (н31).

В последующих временных периодах (до возраста 3+ включительно) речная часть популяции вновь и вновь "разливается" на два таких же потока (например: н66, н67).

В модели принято, что начиная с возраста 4+ проходные формы всех видов тихоокеанских лососей в реке не остаются.

Численность и возрастная структура пресноводной и морской частей, моделируемой популяции рассчитываются в суммирующих узлах с выходом - (81н) - в верхней части сети и выходом - (1н6) \* в левом нижнем блоке сети. Однако, если речная часть популяции характеризуется только чисто возрастной структурой, то морская, кроме того, и временем пребывания в море (морским "стажем"), который для соответствующих видов лососей может составлять от одного до пяти лет.

Начиная с возраста 2+ и до возраста 5,+ другая ветвь алгоритма в каждом временном периоде постоянно "разливает" каждый из "стажевых" потоков морской части популяции на две части: особей остающихся в море - (н40, н46 и т.д.) и тех, которые возвращаются на нерест - (н41, н47 и т.д.). Таким образом, здесь также выявляется информативная по поведенческому разнообразию структура популяции.

Общей численностью - (75н) и обезличенной (по морскому "стажу") возрастной структурой возврата на нерест - (77н, 78н, 79н, 80н) цикл воспроизводства конкретных видов и популяций лососей в модели завершается. После учета объёма морского промысла, переменная (75н) принимает имя (н1) и цикл может повторяться необходимое для прогноза количество раз, при различных значениях управляющих этим циклом входных переменных.

Именно последние переменные модели пока остались нами пока не освещенными. Как уже отмечалось, в качестве входных (задаваемых) переменных, кроме переменных состояния в настоящей технологии моделирования используются, так называемые "временные ряды". Это коэффициенты, которые в моделях управляют интенсивностью и направлением физических и информационных потоков. В нашей модели они отражают: во-первых, выживаемость молоди и взрослых рыб в реке и море в каждой возрастной и/или "стажевой" группе (например, н63 и н34 для рыб в возрасте 1+); А, во-вторых - управляют "разливанием" каждой "стажевой" группы, на потоки, которые отражают, например, время и интенсивность ската молоди в море, или время и удельный вес возврата на нерест.

Значения этих переменных являются результатом сложного взаимодействия целого ряда биотических и абиотических факторов. И если на ретроспективном этапе работы модели, они могут быть легко и достаточно точно рассчитаны по значениям переменных состояния самой моделью, то для будущих периодов их прогноз основывается на междисциплинарной интеграции большого количества частных (от климатических до экономических) прогнозов, либо на взвешенной экстраполяции их прошлых значений опытными экспертами по надежным прогнозам некоторых ведущих факторов и/или по статистическому тренду каждой из этих переменных в нескольких ретроспективных циклах.

И для того и для другого способа прогнозирования не сложно (хотя и трудоемко) разработать соответствующие имитационные модели.

И для того и для другого способа прогнозирования в данной области сегодня трудно переоценить значение опыта и квалификации соответствующих экспертов. Поэтому имитационные модели, которые наряду с формализованной информацией, позволяют использовать знания, интуицию и эвристические возможности экспертов, представляют собой безальтернативную основу для систем информационной поддержки управленческих решений в такой сложной сфере управления, как природопользования.

Вероятно, не лишним будет заметить, что с учетом значительного веса в таких системах "человеческого фактора", существенное значение для надежности результатов их анализа и прогноза имеет то обстоятельство, что все экспертные послышки, предположения и допущения здесь однозначно и строго протоколируются самой моделью. Это позволяет лицу, принимающему решение, корректно повторить соответствующие имитационные эксперименты и выявить возможные ошибки или "натяжки" в прогнозных выводах.

Это очень важно, поскольку ошибки в сфере управления биологическим разнообразием могут быть непоправимыми.

Рассмотренный выше демонстрационный пример программно-реализованной имитационной модели для прогнозирования численности и некоторых аспектов биологического разнообразия тихоокеанских лососей, а также отмеченные особенности использованной технологии моделирования, позволяют ставить вопрос о возможности и необходимости разработки полномасштабной экспериментальной системы имитационных моделей (имитационного стенда) для информационной поддержки управления использованием и сохранением биоразнообразия лососей в конкретном речном бассейне Камчатки.

Это сложная, но реальная междисциплинарная задача. Ее выполнение требует сотрудничества специалистов в самых различных областях знания. Привлечение их внимания к данной проблеме и является целью настоящего доклада.

**Тезис представлен в сокращении (без таблицы).**

---

---

**Теоретические и методологические аспекты сохранения биоразнообразия**