

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ

Э. И. ШИРКОВ¹, О. М. ЗАПОРОЖЕЦ², Е. Э. ШИРКОВА¹

¹Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
²Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии

¹КФ ТИГ ДВО РАН, ул. Тельмана, 2/б-20, Петропавловск-Камчатский, 683024; ²КНИИРХО, ул. Набережная 18, Петропавловск-Камчатский, 683000

¹<shirkov@kftig.kamchatka.ru>, ²<zaporozhets@mail.kamchatka.ru>

УДК 332.2

Ширков Э. И., Запорожец О. М., Ширкова Е. Э. Информационное обеспечение экономических механизмов сохранения биоразнообразия тихоокеанских лососей // Труды СПИИРАН. Вып. 3, т. 2. — СПб.: Наука, 2006.

Аннотация. Актуальной проблемой создания эффективных экономических механизмов сохранения биоразнообразия является слабость современного методического и информационного обеспечения стоимостной оценки экономических функций разнообразия эксплуатируемых живых систем. В статье рассматривается комплекс имитационных алгоритмических моделей для стоимостной оценки экономических функций внутривидового биоразнообразия эксплуатируемой популяции кеты (*Oncorhynchus keta*). — Библ. 14 назв.

UDC 332.2

Shirkov E. I., Zaporozhets O. M., Shirkova E. E.. The information maintenance of economic mechanisms of the Pacific salmon biodiversity preservation // SPIIRAS Proceedings. Issue 3, vol. 2. — SPb.: Nauka, 2006.

Abstract. Actual problem of creation of effective economic mechanisms of biodiversity preservation is the weakness of the cost estimation of economic functions of diversity of the wildlife exploitable objects. In the article the complex of simulation algorithmic models are considered for the cost evaluation of an intraspecific biodiversity of chum salmon (*Oncorhynchus keta*). — Bibl. 14 items.

Одной из актуальных проблем формирования эффективных экономических механизмов сохранения биоразнообразия России является отсутствие адекватных стоимостных оценок собственных экономических функций биоразнообразия эксплуатируемых природных биосистем. Важность и актуальность этой проблемы нашли отражение в Первом национальном докладе Российской Федерации «Сохранение биологического разнообразия России» [1], где разработка и апробация методов экономической оценки биоразнообразия признаны слабыми, а решение этих задач отнесено к первоочередным приоритетам нашей страны в сфере сохранения ее биоразнообразия. Получение таких оценок в настоящее время сдерживается методической незрелостью этого нового направления в экономике природопользования, а также неразработанностью специализированного инструментария для выявления и количественной оценки влияния биоразнообразия на экономическую эффективность эксплуатации биосистем.

В статье авторы исходят из предположения, что основными экономическими функциями биоразнообразия являются обеспечение устойчивости и максимизация экономической продуктивности эксплуатируемых биосистем. В качестве инструмента количественной и стоимостной оценки этой функции в работе предлагается комплекс имитационных алгоритмических моделей конкретной природно-хозяйственной системы.

Цель разработки модельного комплекса — информационное обеспечение экономических механизмов сохранения, восстановления и оптимизации¹ структуры биоразнообразия интенсивно эксплуатируемых лососевых популяций.

Предметом моделирования в предлагаемом имитационном комплексе выступает влияние биоразнообразия популяции лососей на устойчивость ее численности, а также влияние различных стратегий промысла и заводского воспроизводства популяции на ее биологическое разнообразие.

Объектом моделирования в работе принят природно-хозяйственный комплекс, включающий: популяцию кеты (*Oncorhynchus keta*) бассейна реки Паратунки (Восточная Камчатка); обобщенный бассейновый рыбохозяйственный комплекс (РХК), эксплуатирующий данную популяцию и Паратунский лососевый рыбоперерабатывающий завод (ЛРЗ), занимающийся искусственным воспроизводством кеты.

Популяция кеты бассейна реки Паратунки составляет значительную (в отдельные годы — доминирующую) часть всего лососевого потенциала бассейна. Как и другие виды лососей, кета подвержена здесь сильному антропогенному воздействию (включая интенсивное промышленное рыболовство, различные формы загрязнения бассейна и браконьерский пресс). В последнее десятилетие в бассейне быстро развивается искусственное воспроизводство кеты (пастбищная форма лососеводства) [2]. Все перечисленное позволяет считать популяцию кеты и РХК бассейна реки Паратунки типичным и достаточно представительным объектом исследования для демонстрационного решения поставленной задачи.

Методологической основой работы послужили системный анализ и междисциплинарный подход, а методической — их основной инструмент — имитационное моделирование сложных систем и протекающих в них процессов.

В качестве конкретной технологии моделирования использовался предложенный В. В. Иванищевым и разрабатываемый Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации РАН «Язык алгоритмических сетей» (ЯАС), а также системы автоматизации моделирования и обеспечения диалога с моделью «САПФИР» и «КОГНИТРОН» [3, 4].

В области биологии и экологии этот аппарат моделирования восходит к энергетическим сетям Г. Одум [5], а в области экономики — к системной динамике Дж. Форрестера [6, 7]. Язык хорошо отражает специфику биологических и экономических процессов, которым свойственны цикличность и сетевой характер внутренних связей.

Суть алгоритмического подхода в имитационном моделировании состоит в прямом и полном (в рамках решаемых задач) отображении состава и структуры моделируемых систем, а также алгоритмов, протекающих в этих системах процессов (не «черный», а «прозрачный ящик»).

В данной технологии моделирования алгоритмы функционирования и развития системы-оригинала описываются ориентированным графом, дуги которого отражают переменные модели, а вершины (операторы модели) — математические или логические отношения между переменными. Алгоритм функционирования системы-оригинала здесь одновременно является и вычислительным алгоритмом ее имитационной модели. Это позволяет отражать свойственные

¹Под оптимальной структурой биоразнообразия популяции здесь понимается такое соотношение между его компонентами, которое обеспечивает максимальную устойчивость численности популяции в определенных внешних условиях.

реальным природным и общественным процессам зависимости более сложного характера, чем те, которые описываются стандартными математическими отношениями.

Близкие к естественному, алгоритмические языки моделирования облегчают междисциплинарное общение разработчиков многоаспектных моделей. И кроме того, позволяют использовать неформализованную и неформализуемую информацию: экспертные оценки, а также разнообразные эвристические подходы исполнителей — специалистов в различных предметных областях.

Алгоритмический базис используемого языка моделирования в различных версиях содержит от двух до нескольких десятков элементарных математических и логических операторов. Используемая в сетях предлагаемого модельного комплекса часть этого базиса представлена в статье Е. Э. Ширковой [8]. Информационную базу модельного комплекса составляют:

- в области биологии — материалы многолетних ихтиологических съемок, выполненных в бассейне реки Паратунки О. М. Запорожцем и Г. В. Запорожец [2];
- в области экономики — стандартная статистическая информация «Севострыбвода» об уловах кеты в бассейне реки Паратунки (фондовые материалы) и данные по экономике производства и реализации продукции из этого вида лососей Камчатского областного управления государственной статистики [9].

Структурно модельный комплекс состоит из трех взаимосвязанных моделей, отражающих биологические, биотехнические и экономические аспекты воспроизводства и промышленной эксплуатации популяции кеты.

Основой модели, отражающей первые два аспекта моделирования (далее — *Модель-1*), послужила разработанная авторами (Е. Ширковой и Э. Ширковым [10]) ранее концептуальная модель динамики численности и некоторых характеристик внутривидового биоразнообразия для всех видов тихоокеанских лососей [9]. Модель, отражающая экономические аспекты эксплуатации популяции (*Модель-2*), а также экономику её заводского воспроизводства (*Модель-3*) разработаны и публикуются впервые. Общая размерность модельного комплекса 395 переменных. Временной шаг всех моделей — 1 год.

Модель-1. В отличие от большинства других видов дальневосточных лососей, кета не дифференцируется по длительности пресноводного периода жизни. Поэтому значительная часть алгоритмов исходной модели при отображении жизненного цикла кеты остается невостребованной. Исходя из этого обстоятельства, для кеты признано целесообразным упростить исходную модель до структуры, которая отражала бы только один наиболее важный признак ее внутривидового разнообразия — возраст созревания, а также влияние на динамику этого признака не только основных естественных факторов и промысла, но и крупномасштабного заводского воспроизводства этого вида лососей.

Представленная на рис. 1 алгоритмическая потоковая сеть *Модели-1* включает пять синхронизированных горизонтальных потоков, отражающих динамику численности и структуры популяции в рамках ее жизненного цикла. Начало этих потоков — переменные (2, 3, 4, 5, 6). Первый (верхний) поток до переменной (14), отражает численность рыб естественного воспроизводства; второй — численность рыб заводского воспроизводства без дифференциации их по возможному возрасту созревания; а три последних — численность особей заводского воспроизводства, которые в соответствии с их генетической предрасположенностью должны созревать в возрасте 0.2, 0.3 или 0.4 года.

Алгоритмический потоковый базис ЯАС [3]

Название оператора или переменной	Графическое представление	Реализуемая функция или примечание
Идеограммы операторов		
1. Сложение		$X_3 = X_1 + X_2$
2. Вычитание		$X_3 = X_1 - X_2$
3. Умножение		$X_3 = X_1 \times X_2$
4. Деление		$X_3 = X_1 / X_2$
5. Разливание потока в заданной пропорции		$X_2 = X_1 \times X_4$ $X_3 = X_1 \times (1 - X_4)$
6. Слияние потоков с вычислением их относительных весов		$X_1 = X_4 + X_3$ $X_2 = X_1 / X_3$
7. Выбор минимального потока		$X_3 = \min(X_1, X_2)$
8. Выбор максимального потока		$X_3 = \max(X_1, X_2)$
9. Логический ключ (выбор по условию)		$X_3 = X_1$ при $X_4 > 0$ $X_3 = X_2$ при $X_4 \geq 0$
10. Задержка потока во времени		$x_2(t) = x_1(t - 1)$
11. Табличная и др. функции		$x_2 = TF(x_1)$
Идеограммы переменных		
1. Переменные состояния		Значения задаются на начало первого периода
2. Входные коэффициенты или временные ряды		Значения задаются постоянными на все периоды или на каждый период.
3. Переменные междисциплинарной области (межблоковые переменные)		Рассчитываются в моделях других предметных областей (блоков)
4. Прочие входные и промежуточные переменные		Задаются или рассчитываются в моделях, принадлежащих к одной предметной области
Основные синтаксические правила ЯАС:		
<ul style="list-style-type: none"> • Связность — операторы соединяются друг с другом в соответствии с ориентацией дуг; • Однозначность — запрещается вычисление одной переменной разными операторами; • Ацикличность — сеть не должна иметь замкнутых контуров без оператора задержки. 		

В зависимости от длительности жизненного цикла (которая отражает здесь биоразнообразие популяции) включаемых рыб, указанные потоки протекают через все или часть возрастных периодов этого цикла. Для удобства чтения возрастные периоды жизни кеты обозначены вверху сети обычной символикой¹ и отделены друг от друга вертикальными полупрозрачными границами. В границах каждой возрастной группы все потоки постоянно, в той или иной мере, снижают свою интенсивность под опосредованным воздействием двух наиболее существенных естественных факторов [11]:

- плотности популяции (меры концентрации особей на площади нагула) — переменные (8, 26, 84);
- и среднегодовой температуры поверхности воды в ареале нагула популяции — (t°).

Начиная с возраста 0.2 в верхнем потоке (смешанном по виду воспроизводства и генотипу особей) ежегодно происходит созревание некоторой части особей. По каждой возрастной группе этого потока доля созревших рыб определяется среднемноголетней величиной (58, 75, 94, 119) и корректируется в текущем периоде эмпирическим коэффициентом (11), зависящим от среднегодовой температуры поверхности воды в ареале нагула. В группе 0.6 созревают все, выжившие к этому возрасту особи. Созревшие в текущем временном периоде особи, образуют в правой части сети пять «жирных» вертикальных потоков возврата на нерест каждой возрастной группы (52, 76, 95, 120, 128). Первые три из этих потоков (двух-, трёх- и четырёхлетки) прирастают заводскими особями, созревающими в заданном их генетикой этом же возрасте (46, 71, 90) и вместе с пяти- и шестилетками образуют смешанные по происхождению возрастные потоки возврата на нерест (54, 78, 97, 120, 128), которые в сумме характеризуют общую численность (134) и возрастную структуру (143, 144, 145, 146) возврата популяции на нерест в текущем временном периоде (текущем году). После дифференцированного по возрасту отбора производителей для ЛРЗ (164, 172, 178) обезличенный по биоразнообразию общий остаток созревших особей (193) может быть при необходимости уменьшен еще раз — отбором для ЛРЗ смешанных по возрасту производителей (197). Оставшиеся особи (200) после промышленного (218) и браконьерского (204) промыслового изъятия пропускаются в текущем периоде на нерест (219), где и завершают свой жизненный цикл. Численность выживших в периоде новых генераций кеты естественного (230) и искусственного (103, 104, 105, 106) воспроизводства в следующем временном периоде составляет значение начальных переменных этого периода (2, 3, 4, 5, 6), и годовой цикл воспроизводства и эксплуатации популяции повторяется вновь необходимое для экспериментов количество раз.

Таким образом, основные потоки представленной на рис. 1 алгоритмической сети *Модели-1* образуют замкнутый (по часовой стрелке) в цикл граф, который разветвляется внутри себя на пять различных по длительности (от двух до шести лет) жизненных циклов, характеризующих биологическое разнообразие популяции.

¹ В обозначении возрастной группы первая цифра отражает число полных лет пресноводного, а вторая — морского периода жизни лососей.

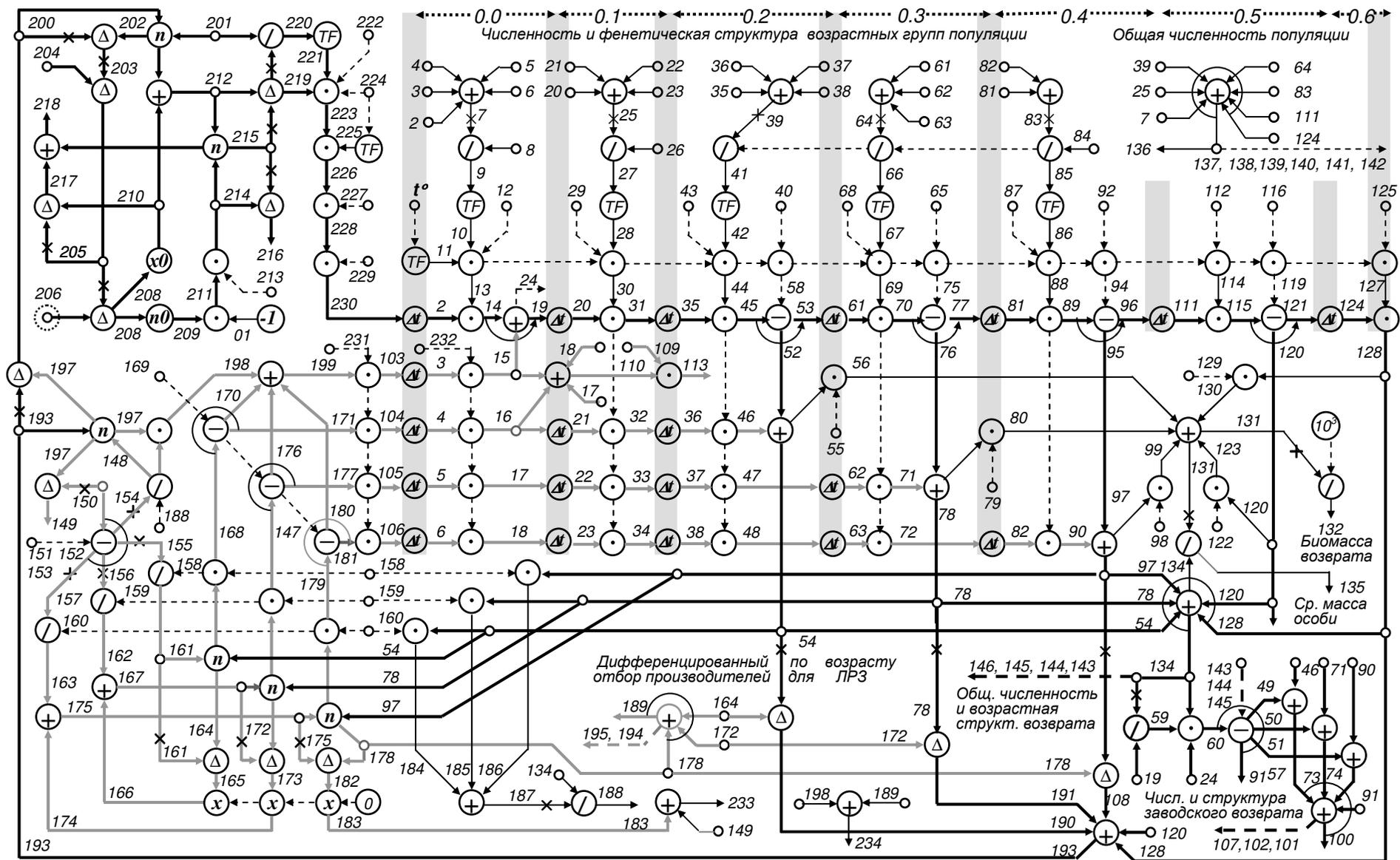


Рис. 1. Алгоритмическая сеть модели динамики численности и структуры популяции кеты смешанного воспроизводства.

Не описывая столь же подробно остальные блоки и алгоритмы *Модели-1*, обратим внимание заинтересованного читателя на их назначение и размещение.

Слева сверху на рис. 1 показан блок промысла и естественного воспроизводства популяции, а внизу — блок искусственного воспроизводства (его потоки показаны на сети серыми дугами). Возможности последнего блока позволяют экспериментировать с различными стратегиями управления биоразнообразием популяции.

В границах возрастных групп популяции (вверху) показан расчет численности и структуры дифференцированных по биоразнообразию возрастных групп, а справа — общей численности и возрастной структуры всей популяции в текущем временном периоде. Наконец, в правой нижней части сети показаны алгоритмы расчета других основных выходных переменных *Модели-1*:

- общей численности (134) и биомассы (132) нерестового возврата текущего года;
- численности (100) и возрастной структуры (101, 102, 107, 117) возврата в данном году особей заводского воспроизводства.

Важными для использования в экономических блоках модельного комплекса, являются такие выходные переменные *Модели-1* как: упоминавшиеся выше — общий допустимый улов ОДУ (203) и промышленный вылов кеты в периоде (218), а также объем недоиспользуемых в периоде мощностей РХК (216) и ЛРЗ (233).

Всего в *Модели-1* — 229 переменных. Из них входных (задаваемых) — 53, в том числе переменных состояния, которые задаются один раз на начало первого временного периода — 20.

Представленные на рис. 2 и 3 алгоритмические сети экономических блоков модельного комплекса имеют простую «проточную» структуру. Основные входные переменные этих моделей расположены на рисунках слева, а выходные справа. Небольшая размерность сетей этих блоков позволила привести на рисунках наименования практически всех их входных и выходных переменных, что делает излишним описание алгоритмов расчета последних. Поэтому при описании указанных блоков мы, в рамках отведённого объёма статьи, позволим себе ограничиться только их общим экономическим содержанием и некоторыми особенностями, вытекающими из специфики объекта моделирования.

Для стоимостной оценки устойчивости экономической продуктивности эксплуатируемой популяции лососей существенное значение имеет то обстоятельство, что постоянные затраты здесь действительно постоянные, а не условно-постоянные, как это имеет место в большинстве отраслей обрабатывающей промышленности. При слабых подходах лососей на нерест основной капитал и труд постоянного персонала недоиспользуются и затраты на их содержание в значительной мере оказываются непроизводительными. С другой стороны, недостаток производственных мощностей РХК не позволяет в полной мере использовать ресурсы лососей, когда их подходы значительно превышают средний уровень. Это ведет не только к упущенной выгоде от недоиспользования допустимых квот вылова, но снижает продуктивность популяции в будущем. Обеспечиваемая биоразнообразием устойчивость численности популяции оказывает существенное и прямое влияние на эффективность функционирования эксплуатирующей эту популяцию РХК. Поэтому учет колебаний численности во времени и выявление роли биоразнообразия в размахе этих колебаний является одной из основных задач *Модели-1*.

В то же время, определенная флуктуация численности лососевых популяций неизбежна даже при самом совершенном управлении их промыслом и воспроизводством. Эта флуктуация определяется циклическими и спорадическими изменениями основных естественных условий жизни лососей на всех этапах их жизненного цикла. Как и у многих других промысловых объектов тихоокеанского промыслового бассейна, изменение численности лососей устойчиво коррелирует с циклическими изменениями климата, в частности, с изменением индекса атмосферной циркуляции, который определяется уже более века. В [12, 13] цикличность этого индекса оценивается приблизительно 60-ю годами. Внутри таких больших климатических циклов четко прослеживаются и 10–12-летние колебания [13]. Поэтому экономическая оценка биоразнообразия лососей, которую мы связываем с оценкой устойчивости их численности, должна производиться за период не меньший чем 10–12 лет. Для выполнения последнего условия в экономических моделях комплекса предусмотрены простые накопители соответствующей информации (на сетях они показаны небольшими «жирными» циклами с операторами задержки времени). Только усредненные за весь малый климатический цикл данные о затратах и эффектах в экономике добычи и воспроизводства лососей могут дать достаточно объективную оценку устойчивости численности эксплуатируемой популяции и экономическую оценку влияния на эту устойчивость внутривидового биоразнообразия популяции. *Модель-2* предоставляет возможность для анализа и количественной оценки влияния устойчивости запасов лососей на экономическую эффективность их промышленного использования, как в ретроспективных, так и в прогнозных периодах соответствующей длительности. Размерность *Модели-2* — 70 переменных, в том числе 28 входных, из них, переменных состояния — 7.

Экономика заводского воспроизводства лососей отличается от экономики их промышленной эксплуатации одним очень важным моментом. В промысле и переработке лососей все, учитываемые в *Модели-2* затраты любого временного периода можно сопоставлять с экономическими результатами этого же периода. В искусственном воспроизводстве долгоживущих видов лососей такое сопоставление неправомерно. Выпущенная с ЛРЗ в каком то конкретном году молодь кеты будет возвращаться на нерест (и станет объектом промысла) не в этом же году и не одновременно, а в течение трёх–пяти лет, начиная с двухлетнего возраста. При этом в каждом конкретном году промыслом будут использоваться особи разных лет заводского выпуска. Поэтому в *Модели-3* предусмотрен специальный блок дисконтирования и приведения разновременных затрат ЛРЗ на нерестовый (и промысловый) возврат текущего года.

Дисконтирование прошлых затрат на воспроизводство лососей и приведение их к текущему году отличает принятый в *Модели-3* подход от существующих методик экономической оценки деятельности рыбопроизводных заводов. Такой подход позволяет делать эти оценки более объективными.

В остальном подходы к оценке экономических результатов заводского воспроизводства лососей в *Модели-3* принципиально не отличаются от подходов *Модели-2*.

Размерность *Модели-3* — 96 переменных, из них входных переменных — 48, в том числе, переменных состояния — 19.

Основные производственные фонды добычи (ОПФ) рыбохозяйственного комплекса (РХК) и их движение

306 — Доля ОПФ для добычи лососей

307 — Среднегодовые ОПФ добычи лососей

311 — Материальные затраты на содержание ОПФ

312 — Постоянные расходы на управление

313 — Страховые затраты на ОПФ

314 — Плата за 1 тонну ресурсов

340 — Общий допустимый улов (ОДУ) в периоде (тонн)

333 — Цена тонны сырья в периоде

321 — Материальные затраты на добычу 1 т рыбы

322 — Трудозатраты на добычу 1 т рыбы

323 — Затраты услуг на добычу 1 т рыбы

324 — Прочие затраты на добычу 1 т рыбы

329 — Фактическая добыча РХК в периоде (т)

358-359 — Счетчик периодов (лет) эксперимента

218 — Добыча РХК в периоде (тыс. шт.)

135 — Средняя масса одной особи в периоде (кг) ОДУ в периоде (тыс. шт.) с учетом (203) и без учета (205) браконьерства

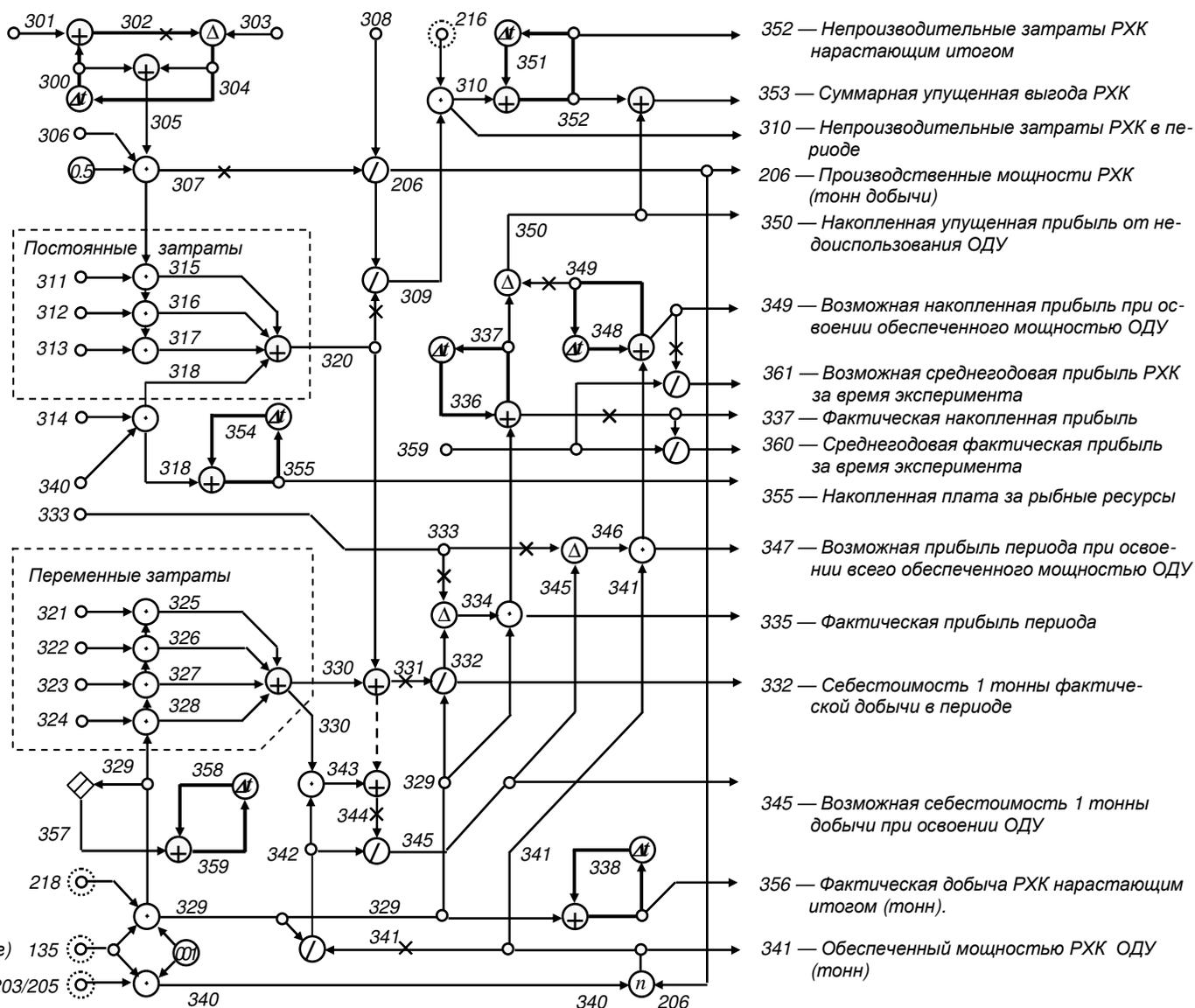


Рис. 2. Алгоритмическая сеть модельного блока «Экономика добычи рыбы».

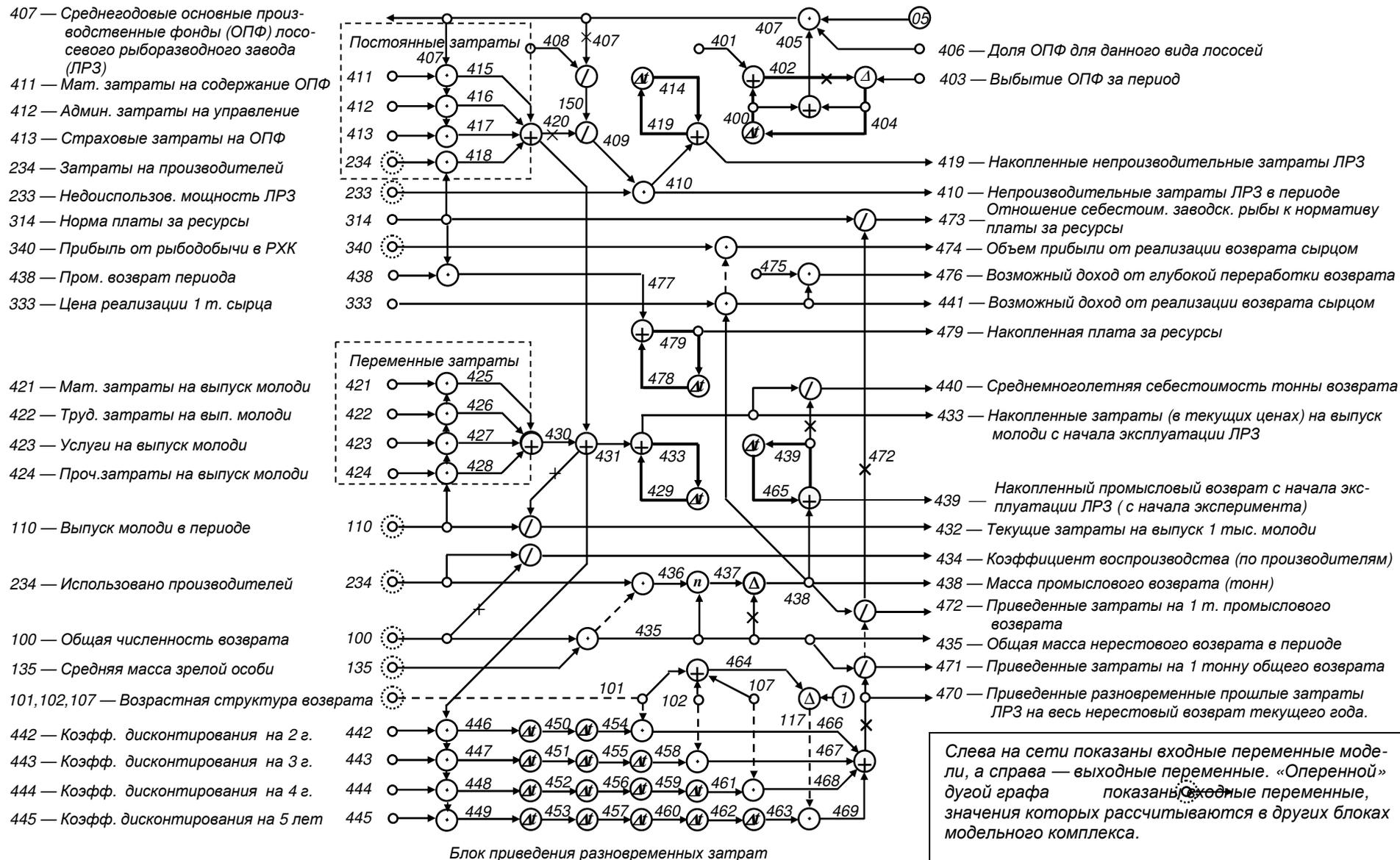


Рис. 3. Алгоритмическая сеть модельного блока «Экономика искусственного воспроизводства кеты».

Непосредственное назначение модельного комплекса — прямая стоимостная оценка основных экономических функций внутривидового биоразнообразия эксплуатируемой популяции кеты. Как уже отмечалось, к таким функциям биоразнообразия авторы относят обеспечение устойчивости и максимизацию экономической продуктивности эксплуатируемых живых систем. Указанное назначение имитационного комплекса реализуется в ходе вычислительных экспериментов по следующей огрубленной схеме:

- осуществляется расчет фактической экономической эффективности эксплуатации популяции за любые 10–12 лет подряд, например, по величине среднегодовой прибыли РХК в рассматриваемом периоде (переменная 360 на рис. 2);
- осуществляется расчет максимально возможной (при полном использовании обеспеченного мощностью РХК ОДУ) экономической эффективности эксплуатации популяции (361) в том же периоде в условиях, когда нерестовая часть популяции представлена поочередно одной из двух наиболее массовых возрастных групп (0.3 и 0.4 года) при условной начальной численности группы, равной фактической численности всего нерестового возврата популяции на начало расчетного периода и при реальной флуктуации численности группы в периоде относительно его начала;
- осуществляется расчет максимально возможной экономической эффективности эксплуатации популяции (361) в условиях полного сохранения и оптимальной для данного двенадцатилетнего периода структуры её биоразнообразия при фактическом колебании численности каждой из пяти возрастных групп относительно начала рассматриваемого периода.

Отношение последнего результата расчетов к первому характеризует меру использования рентного потенциала биоразнообразия популяции в периоде. А разность между последним результатом и минимальным по величине результатом второго расчета представляет собой рентную стоимостную оценку биологического разнообразия моделируемой популяции кеты.

Выполненная в ходе модельных экспериментов по приведенной выше схеме демонстрационная стоимостная оценка внутривидового биоразнообразия кеты бассейна реки Паратунки на материалах 1991–2003 гг. по своей величине оказалась сопоставимой с ресурсной оценкой среднегодовых допустимых уловов паратунской кеты, рассчитанной для этого же периода по современным ставкам сборов за пользование водными биологическими ресурсами [14]. Поэтому использование подобных оценок в качестве дополнительных к действующим ресурсным оценкам в экономических механизмах природопользования может реально поднять заинтересованность ресурсопользователей в сохранении биоразнообразия эксплуатируемых промысловых видов и их отдельных популяций.

Поскольку в рамках предложенного методического подхода к стоимостной оценке экономических функций биоразнообразия необходимые натурные эксперименты невозможны, а стандартные статистические методы не обеспечены достаточной информацией, постольку имитационное моделирование и имитационные эксперименты являются в настоящее время фактически единственными инструментами практической экономической оценки биоразнообразия эксплуатируемых живых систем.

Наряду с экономической оценкой биоразнообразия различных популяций кеты, представленный модельный комплекс обеспечивает значительные возможности для разработки, оценки и совершенствования среднесрочных и дол-

госрочных стратегий управления промыслом, а также стратегий заводского воспроизводства эксплуатируемых популяций этого ценного вида тихоокеанских лососей.

Литература

1. Сохранение биологического разнообразия России. Первый национальный доклад Российской Федерации / Госкомитет РФ по охране окружающей среды. Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия». М., 1977. 170 с.
2. Запорожец О. М., Запорожец Г. В. Состояние популяции тихоокеанских лососей реки Паратунки (Восточная Камчатка) к началу XXI века // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Докл. III научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Камчат НИРО, 2003. С. 55–67.
3. Иванищев В. В., Михайлов В. В., Тубольцева В. В. Инженерная экология. Вопросы моделирования. Л.: Наука, 1988. 145 с.
4. Иванищев В. В., Марлей В. Е., Морозов В. В. Введение в теорию алгоритмических сетей. СПб.: Изд. СПбГТУ, 2000. 180 с.
5. Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы. М.: Прогресс, 1979. 379 с.
6. Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: Наука, 1978. 166 с.
7. Форрестер Дж. Кибернетика предприятия (индустриальная динамика). М.: Прогресс, 1971. 361 с.
8. Ширкова Е. Э. Проблемы междисциплинарной интеграции знаний в моделировании сложных систем // Труды КФ ТИГ ДВО РАН. Выпуск IV. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2003. 325 с.
9. Камчатский статистический ежегодник. Статистический сборник / Камчатский областной комитет государственной статистики. Петропавловск-Камчатский, 2001. 190 с.
10. Ширкова Е. Э., Ширков Э. И. Имитационная модель динамики численности и биологического разнообразия тихоокеанских лососей // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Петропавловск-Камчатский: Госкамчатэкология, 2000. С. 98–104.
11. Островский В. И., Семенченко Н. Н. Межгодовая изменчивость длины тела покатной молоди нерки *Oncorhynchus nerka* озера Курильское (Камчатка) в связи с влиянием внешних факторов // Биология моря. 2002. Т. 28, № 1. С. 40–46.
12. Кляшторин Л. Б. Тихоокеанские лососи: климат и динамика запасов // Рыбное хозяйство. 2000. № 4. С. 32–34.
13. Кровнин А. С., Кловач Н. В., Борисов В. М., Борисенко М. В. Крупномасштабные флуктуации запасов морских промысловых организмов // Рыбное хозяйство. 2003. № 4. С. 20–23.
14. Налоговый кодекс РФ (Часть вторая). Глава 25.1. Сборы за пользование объектами животного мира и за пользование объектами водных биологических ресурсов (Введена Федеральным законом от 11.11.2003. № 148–ФЗ).