

Цифровая гетерогенная динамическая модель пеляди *Coregonus peled* Gmelin

DOI

Д.И. Наумкина – ведущий специалист группы гидробиологии;
д-р с/х наук, профессор
А.А. Ростовцев – главный научный сотрудник;
д-р с/х наук, профессор
А.Л. Абрамов – главный научный сотрудник
Лаборатория аквакультуры, Новосибирский филиал «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Новосибирск, Россия

@ sibribniiproekt@mail.ru

Ключевые слова:
пелядь, товарное выращивание рыбы, водная экосистема, динамическая модель, программа MAEcoS, озеро Ик

Keywords:
peled, commercial fish farming, aquatic ecosystem, dynamic model, MAEcoS program, Lake Ik

DIGITAL HETEROGENEOUS DYNAMIC MODEL OF PELED *COREGONUS PELED* GMELIN

D. Naumkina, A. Rostovtsev, Doctor of Sciences, Professor, **A. Abramov**, Doctor of Sciences, Professor – Novosibirsk branch of Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, sibribniiproekt@mail.ru

The article provides an example of constructing a complex dynamic model of a biological and economic system with the commodity two-year-old peled growing in Lake Ik in 2017-2018 as a case study. A brief description of the lake and a detailed description of the principle of constructing a heterogeneous dynamic model are given. A block diagram of a heterogeneous biological and economic system is under construction. The scenario of temporal development of the system is described. As a result, the model itself is presented in the form of graphs showing time dynamics of the amount of food, fish biomass, and working capital of the peled growing business process.

Математические модели давно используются для описания развития биосистем во времени [1; 2]. Математические модели состоят из различной степени сложности и подробности. Много зависит от объекта исследования – чем сложнее объект, тем большее количество значимых взаимодействующих компонентов системы должно учитываться. Водная экосистема является частным вариантом биосистем, которые в последнее время исследуются научными специалистами с целью организации более рационального использования водных биоресурсов [3; 4].

В классической постановке математическая модель водной экосистемы показывает трофические связи между популяциями живых организмов, описываемых переменными, означающими количество организмов ($N_i(t)$) [5], либо биомассу организмов ($M_i(t)$) [6]. Использование ресурсов водных экосистем в хозяйственной деятельности человека непосредственно связано с экономическими показателями, характеризующими эффективность производства водной продукции, на которых основывается планирование финансовой деятельности на определенный период

времени. Расчет экономических показателей производится, как правило, по интегральным характеристикам производства водной продукции и эти показатели не включаются в динамику процессов, происходящих в водной экосистеме.

Целью данной работы является построение гетерогенной динамической модели при двухлетнем товарном выращивании пеляди в незамерзшем водоеме, при условии ежегодного вселения подращиваемой рыбы и действия антропогенного фактора – ежесезонного частичного вылова, и экономической эффективности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для работы послужили данные: площадь, средняя глубина озера Ик Омской области, с учетом наличия местной ихтиофауны, а также количество посаженных в озеро молоди пеляди в 2017-2018 гг., их индивидуальная масса, общая масса выловленных сеголетков и двухлетков и их индивидуальная масса, выживаемость при двухлетнем сроке выращивания [6].

Для моделирования и анализа применялась программа MAEcoS [7].

Данная работа проводилась впервые.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В статье рассматривается гетерогенная (неоднородная) модель, описывающая динамические явления при описании процесса товарного выращивания пеляди в озере. При этом под единым понятием «явления» рассматриваются взаимосвязанные биологические и экономические явления, относящиеся к разнородным системам. Их объединение основано на том, что **выращивание** водных биоресурсов человеком связывает эти гетерогенные системы в одну сложную систему с взаимозависимыми переменными. На рисунке 1 представлена блок-схема гетерогенной биолого-экономической системы.

В качестве неизвестных системы рассматриваются переменные, определяющие сценарий развития во времени:

X_1 – масса одного экземпляра рыб, наблюдаемая на протяжении 2-летнего периода жизни от июня 1-го года до конца ноября 2-го года (по этапам: мальки1 с начальным значением $X_1|_{t=0} = 0,03$ г → сеголетки1 → двухлетки).

X_2 – количество мальков1 (шт.), наблюдаемых от начала помещения в озеро до времени перехода в категорию сеголетков1 (этот промежуток времени принимается равным 1 мес. = 30 дн.).

X_3 – количество сеголетков1 (шт.), наблюдаемых от времени 30 дн. до времени 360 дн. (1 год), т.е. до времени перехода в категорию двухлетков.

X_4 – количество двухлетков (шт.), наблюдаемых от времени 360 дн. до времени вылова (начало вылова – 510 дн., окончание – 540 дн.).

X_5 – масса одного экземпляра рыб, наблюдаемая на протяжении от июня 2-го года до конца ноября 2-го года (по этапам: мальки2 с начальным значением $X_1|_{t=0} = 0,03$ г → сеголетки2).

В статье приводится пример построения сложной динамической модели биолого-экономической системы на примере товарного двухлетнего выращивания пеляди в озере Ик в 2017-2018 годах. Дается краткое описание озера и подробное описание принципа построения гетерогенной динамической модели. Строится блок-схема гетерогенной биолого-экономической системы. Описывается сценарий развития во времени системы. В результате сама модель представлена в виде графиков изменения во времени: количества пищи, биомассы рыбы и оборотных средств бизнес-процесса выращивания пеляди.

X_6 – количество мальков2 (шт.), наблюдаемых от начала помещения в озеро (360 дн.) до времени перехода в другую категорию – сеголетков2 (этот промежуток времени принимается равным 1 мес. = 30 дн.).

X_7 – количество сеголетков2 (шт.), наблюдаемых от времени 390 дн. до времени вылова (начало вылова – 510 дн., окончание – 540 дн.).

X_8 – кредит – денежные средства (руб.), необходимые для начала организации бизнеса по искусственному выращиванию пеляди в озере.

X_9 – выручка – денежные средства (руб.), полученные от реализации продукции (сеголетки1, двухлетки, сеголетки2).

X_{10} – количество пищи (планктон, бентос), исчисляемое в относительных единицах (о.е.): за 1 о.е. принимается количество пищи, необходимое всем объектам наблюдения (мальки1, сеголетки1, двухлетки, мальки2, сеголетки2) для питания без конкуренции за пищу.

На массовые показатели рыб X_1 , X_5 влияет количество потребляемой пищи, на количественные показатели X_2 , X_3 , X_4 , X_6 , X_7 влияют естественная смертность и хищники. Размножение планктона и бентоса (пищи) определяется климатическими условиями.

Согласно блок-схеме (рис. 1) составлена расчетная схема для программы MAEcoS [7]. Расчет проводился в относительном времени: за время $t=1$ о.е. принималось 500 дней (1 дн. = 0,002 о.е.), шаг расчета $\Delta t = 0,0001$ о.е. Условно принималось, что 1 мес. = 30 дн. = 0,06 о.е.; 1 год = 12 мес. = 360 дн. = 0,72 о.е.

Численные значения параметров определялись применительно к реальному варианту искусственного разведения пеляди в озере Ик (Омская обл.) в 2017-2018 гг. [6].

Характеристика озера Ик

Площадь озера составляет 71,4 км², глубины: средняя 3,5 м, максимальная – 4,75 м. Грунты профундали представлены иловыми отложениями толщиной до 0,7 м, литорали – заиленными песками. Уровень воды в озере относительно устойчив¹ и предотвращает возможные заморы рыбы, позво-

¹ Водное питание озера поддерживается в основном притоками – реками Яман и Крутиха, а также за счет атмосферных осадков. Устье реки Крутиха, впадающей в озеро с юга, сильно заилено и в маловодные годы сток воды бывает незначителен. Из озера вытекает единственная река Киртерма, в её истоке имеется плотина крестьянского типа, поддерживающая горизонт воды в озере. Кроме этого, она соединяет Ик с озером Салтаим [8].

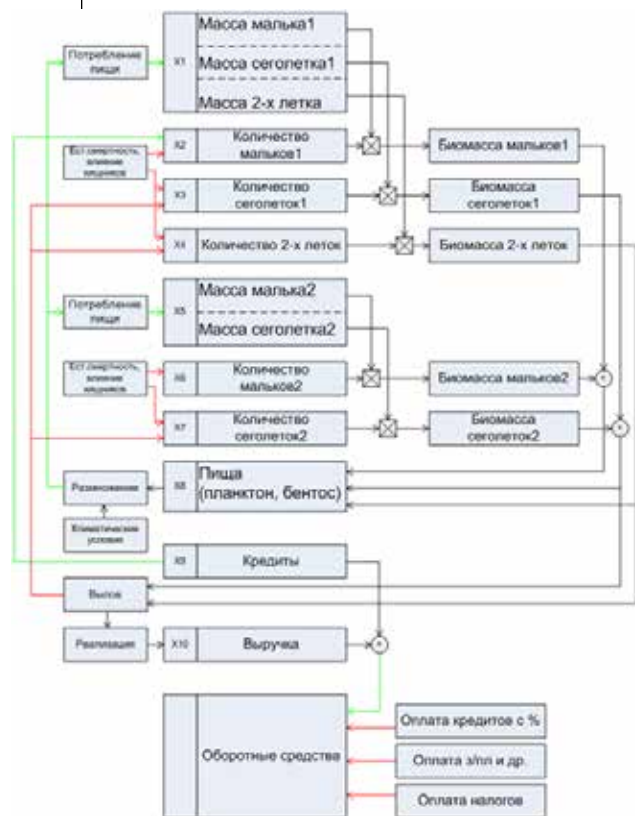


Рисунок 1. Блок-схема гетерогенной биолого-экономической системы

Figure 1. Block-scheme of a heterogeneous biological and economic system

для выращивать сиговых до двухлетнего возраста.

При выращивании пеляди следует учитывать, что в озере Ик обитают такие хищники, как окунь *Perca fluviatilis* Linne, щука *Esox lucius* L., судак *Sander lucioperca* L., ротан *Perccottus glenii* Dybowski и рыбы, являющиеся конкурентами в питании – карась *Carassius auratus* Bloch, лещ *Abramis brama* L., пелядь *Coregonus peled* Gmelin, сазан *Cyprinus carpio* L., верховка *Leuca spiusdelineates* Heck., и пескарь *Gobio gobio* L. Озеро Ик относится к окунево-карасевым озерам.

Известно [6], что кормовая база озера представлена организмами зоопланктона и зообентоса. Видовой состав зоопланктона наиболее богат в полноводные годы – до 28 видов, в маловодные – 6-8 видов. В исследуемый период 2017-2018 гг. в составе зоопланктона отмечено 20-22 вида из 3 систематических групп: коловратки, ветвистоусые и веслоногие ракообразные. Средние показатели биомассы в этот период составляли 1,5 г/м³.

В составе донных организмов на озере Ик отмечено 10 таксонов, относящихся к 5 группам: хирономиды (*Chironomidae*), кулициды (*Culicoidae*), олигохеты (*Oligochaeta*), двусторчатые моллюски (*Bivalvia*) и ручейники (*Trichoptera*). Наибольший таксономический состав имеет группа хирономид (*Chironomidae*) – 5 видов с преобладанием крупных личинок *Chironomus plumosus* L., встречающихся повсеместно. Наибольшее количество видов зафиксировано в прибрежной части, к центру

отмечено их уменьшение до 1-2 видов. Средние показатели биомассы зообентоса в этот период составляли 20 г/м².

Уравнения для биосистемы

На озере Ик личинку пеляди (0,003 мг) предварительно подращивают в выростных прудах в течение месяца (30 дн.) и затем в начале июня мальков пересаживают в озеро. Гибель личинок рыбы в первый месяц подращивания и пересадки в озеро составляет около 30%. Следовательно, из посаженных в пруды личинок количеством 15 млн экз., в озеро Ик попадает 10,5 млн экз. молоди рыбы со средней массой малька 0,03 г [8].

В модели не учитывается время, затраченное на подращивание личинки пеляди в выростных прудах, отсчет $t=0$ начинается с момента посадки молоди рыбы в озеро. Частичный вылов сеголетков (10,0 т) производится на первом году разведения (в течение 15 дн. с начала ноября), второй вылов пеляди (40,0 т) производится в конце второго года (в течение 30 дн. с начала ноября).

Будем исходить из вполне реального предположения, что в оз. Ик изменение массы пеляди на всем времени рассмотрения никак не связано с недостатком пищи, т.е. за пищу конкуренции нет. Вследствие этого изменение массы пеляди можно описать простым уравнением:

$$dX_1/dt = k_1 \cdot X_1; X_1|_{t=0} = X_{1,0}, \quad (1)$$

решением которого является экспоненциальная функция:

$$X_1(t) = X_{1,0} \cdot e^{k_1 t} = X_{1,0} e^{t/\tau}, \quad (2)$$

где $\tau = 1/k_1$ – постоянная времени (характерное время процесса)².

Период развития пеляди в двухлетний промежуток времени разделим на четыре части:

- 1-ый – с начала июня до начала июля (30 дн., $t_1 = 0,06$, $\Delta t = 0,06$) масса рыбы изменяется с 0,03 г до 1,0 г, тогда в выражении (2) $X_{1,0} = 0,03$; $k_1 = 1/\Delta t \cdot \ln((X_1(t=t_1)/X_{1,0})) = 1/0,06 \cdot \ln(1,0/0,03) = 58,4426$;

- 2-ой – с начала июля до начала декабря (150 дн., $t_2 = 0,36$, $\Delta t = 0,30$) масса рыбы изменяется с 1,0 г до 95,0 г, тогда в выражении (2) $X_{1,0} = 1,0$; $k_1 = 1/\Delta t \cdot \ln((X_1(t=t_2)/X_{1,0})) = 1/0,30 \cdot \ln(95,0/1,0) = 15,18$;

- 3-ий – с начала декабря первого года до начала июня второго года (180 дн., $t_3 = 0,72$, $\Delta t = 0,36$) масса рыбы изменяется с 95,0 г до 120,0 г, тогда в выражении (2) $X_{1,0} = 95,0$; $k_1 = 1/\Delta t \cdot \ln((X_1(t=t_3)/X_{1,0})) = 1/0,36 \cdot \ln(120,0/95,0) = 0,65$;

- 4-ый – с начала июня второго года до начала декабря второго года (180 дн., $t_4 = 1,08$, $\Delta t = 0,36$) масса рыбы изменяется с 120,0 г до 350,0 г, тогда в выражении (2) $X_{1,0} = 120,0$; $k_1 = 1/\Delta t \cdot \ln((X_1(t=t_4)/X_{1,0})) = 1/0,36 \cdot \ln(350,0/120,0) = 2,97345$;

Определенные таким образом параметры будут представлять увеличение массы рыб в условиях достаточного количества пищи (без конкуренции за пищу).

Для количественных переменных $X_2 - X_4$, X_6 , X_7 уравнения имеют следующий вид:

² Представленное уравнение для X_1 также справедливо и для переменной X_5 , изменяющейся в другом диапазоне времени.

$$\frac{dX_j}{dt} = +k_{\text{вылов}}(t) \cdot X_j - k_{(j-1) \rightarrow j}(t) \cdot X_{j-1} - k_{\text{хищ}} X_j - k_{\text{смерт}} X_j - k_{j \rightarrow (j+1)}(t) \cdot X_j - k_{\text{вылов}}(t) \cdot X_j, \quad (3)$$

в которых учитываются изменения численности мальков, сеголетков и двухлеток за счет перехода из одной стадии развития рыб в другую стадию ($+k_{(j-1) \rightarrow j}(t) \cdot X_{j-1}$ – член с положительным знаком³), из-за выедания хищниками и смертности ($-k_{\text{хищ}} X_j - k_{\text{смерт}} X_j$) – члены с отрицательными знаками), а также вылова в определенные промежутки времени ($-k_{\text{вылов}}(t) \cdot X_j$ – член с отрицательным знаком⁴). Численные значения параметров уравнений оцениваются с учетом реальных величин выловленной массы рыбы.

Для варианта конкуренции за пищу учет количества пищи производится введением в модель уравнения:

$$\frac{dX_{10}}{dt} = k_{10}(t) \cdot X_{10} - k_M(X_1 X_2 + X_5 X_6) \cdot X_{10} - k_C(X_1 X_3 + X_5 X_7) \cdot X_{10} - k_D(X_1 X_4) \cdot X_{10}; X_{10}|_{t=0} = X_{10,0}, \quad (4)$$

где сумма произведений ($X_1 X_2 + X_5 X_6$) представляет биомассу мальков1 и мальков2, сумма произведений ($X_1 X_3 + X_5 X_7$) представляет биомассу сеголетков1 и сеголетков2, произведение ($X_1 X_4$) представляет биомассу двухлеток;

- коэффициенты k_M , k_C , k_D – коэффициенты метаболизма: отношение массы съеденной пищи к биомассе рыб (соответственно индексам: М – мальков, С – сеголетков, Д – двухлеток);

- $k_{10}(t)$ – коэффициент размножения зоопланктона и зообентоса (пищи), в зависимости от времени с максимальным значением $k_{10,\max} = k_{10}(t)|_{t=0,12;t=0,84}$ в начале августа и минимальным значением $k_{10,\min} = k_{10}(t)|_{t=0,54}$ в конце февраля. Коэффициент $k_{10}(t)$ может быть принят кусочно-постоянным в промежутках времени $t = 0-0,12$ (июнь-июль); $t = 0,12-0,54$ (август-февраль); $t = 0,54-0,84$ (март-июль); $t = 0,84-1,08$ (август-ноябрь). Тогда коэффициент k_{10} определяется по таким же формулам, что и для коэффициента k_1 .

При учете конкуренции за пищу уравнение (1) принимает вид:

$$\frac{dX_1}{dt} = (k_1 \bar{X}_{10}) \cdot X_1; X_1|_{t=0} = X_{1,0}, \quad (5)$$

где \bar{X}_{10} – значение X_{10} , ограниченное сверху величиной 1 ($0 < \bar{X}_{10} \leq 1$), поскольку было принято, что для достаточного питания особям необходимо количество пищи определяется равенством $X_{10} = 1$ о.е. (больше они просто не смогут съесть). В то же время уравнение (4) может допускать любые решения со значениями $X_{10} > 1$. Если такое неравенство выполняется при любом времени, то получается вариант решения без конкуренции за пищу.

Уравнения для финансовых средств

Кредитные средства, полученные на развитие бизнеса, тратятся на приобретение личинок пеляди (15 млн шт. x 200 тыс. руб./млн шт. = 3 млн руб.) и повседневных трат, совершаемых до времени получения выручки от реализованной продукции. Вводится в рассмотрение переменная X_8

– часть кредитных средств, оставшихся после первой покупки личинок. Для описания изменения переменной X_8 используется уравнение:

$$\frac{dX_8}{dt} = -k_8(t), \quad (6)$$

где $k_8(t)$ – функция от времени, означающая скорость изменения наличных кредитных средств за счет повседневных трат (заработная плата и проч.). Функцию $k_8(t)$ можно представить кусочно-постоянной с разбивкой на периоды:

- 1) $k_{8,1} = \text{const}$ при $t = 0-0,36$ (июнь₁-ноябрь₁);
- 2) $k_{8,2} = \text{const}$ при $t = 0,36-0,72$ (декабрь₁-май₂);
- 3) $k_{8,3} = \text{const}$ при $t = 0,72-1,08$ (июнь₂-ноябрь₂);
- 4) $k_{8,4} = \text{const}$ при $t = 1,08-1,44$ (декабрь₂-май₃)⁵.

Тогда в каждый период времени изменение X_8 будет представляться линейно убывающими функциями. Параметры этих функций определяются фактическими затратами.

На убывающую переменную X_8 вводится ограничение: $X_8 \geq 0$. При невыполнении этого неравенства происходит перенаправление затрат на вычитание из имеющихся средств от выручки продукции X_9 .

Для переменной X_9 выполняется уравнение:

$$\frac{dX_9}{dt} = +C_1(\bar{X}_1 \bar{X}_3) + C_2(\bar{X}_5 \bar{X}_7) + D_2(\bar{X}_1 \bar{X}_4) - K_{\text{затр}}(t), \quad (7)$$

где $C_1(\bar{X}_1 \bar{X}_3)$ – средства (руб.), полученные от реализации ограниченной выловом биомассы сеголетков1 ($\bar{X}_1 \bar{X}_3$) по цене C_1 ;

$C_2(\bar{X}_5 \bar{X}_7)$ – средства (руб.), полученные от реализации ограниченной выловом биомассы сеголетков2 ($\bar{X}_5 \bar{X}_7$) по цене C_2 ;

$D_2(\bar{X}_1 \bar{X}_4)$ – средства (руб.), полученные от реализации ограниченной выловом биомассы двухлеток ($\bar{X}_1 \bar{X}_4$) по цене D_2 ;

$K_{\text{затр}}(t)$ – затраты (заработная плата и проч.) после перенаправления их от вычитания с кредита.

Оборотные средства X_{11} определяются уравнением

$$X_{11} = X_9 - K_{\text{кред}} - K_{\text{лич}} - k_{\text{налог}} \bar{X}_9, \quad (8)$$

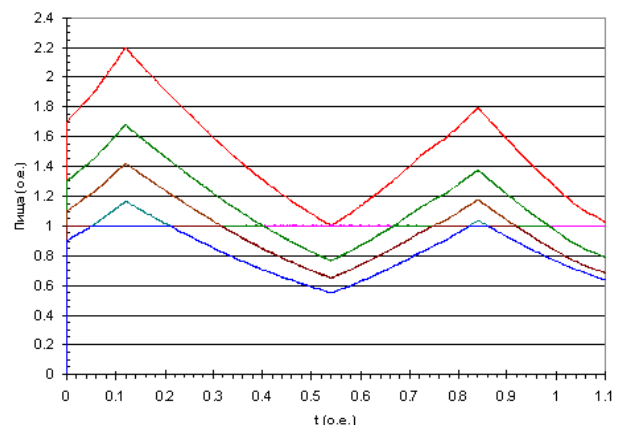


Рисунок 2. Графики изменения во времени количества пищи
Figure 2. Time dynamics of food amount

³ Для мальков1 и мальков2 присутствуют члены только с отрицательными знаками

⁴ Только для сеголетков и двухлеток

⁵ Индекс при названии месяца означает рассматриваемый год (соответственно – 1, 2, 3)

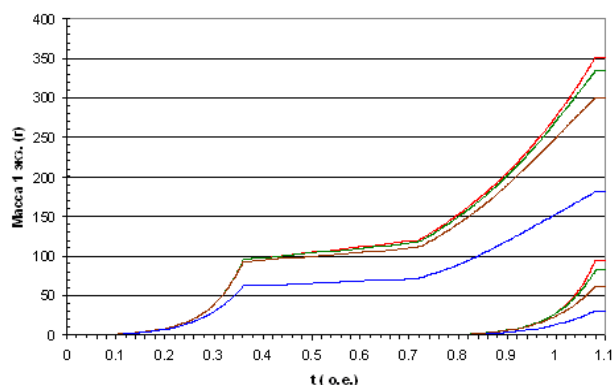


Рисунок 3. Изменения во времени массы 1 экз. пеляди

Figure 3. Time dynamics of peled mass per individual

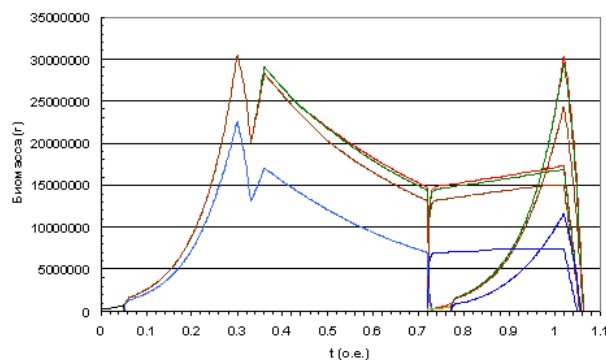


Рисунок 4. Изменение во времени биомассы пеляди

Figure 4. Time dynamics of peled biomass

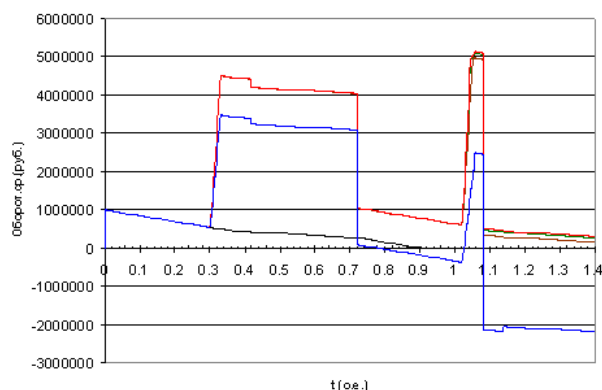


Рисунок 5. Оборотные средства бизнес-процесса искусственного выращивания пеляди

Figure 5. Working capital of artificial peled growing business-process

где $K_{\text{кред}}$ – затраты на погашение кредита с процентами, зависящими от срока, на который дан кредит;

$K_{\text{лич}}$ – затраты на приобретение личинок второй раз;

$k_{\text{налог}} \bar{X}_9$ – выплата налога на прибыль (обозначение \bar{X}_9 показывает, что прибыль связана с выручкой, ограниченной разными выплатами).

Влияние количества пищи

На рисунках 2-5 представлены результаты расчетов по разработанной модели. Исследовалось влияние количества пищи на динамику процесса искусственного выращивания пеляди в двухлетний период, с частичным выловом сеголетков в первый год. На всех рисунках синим цветом изображены графики в варианте питания без конкуренции за пищу.

На рисунке 2 представлены графики изменения количества пищи, зависящего от времени года и биомассы мальков, сеголетков и двухлеток. Количество пищи, достаточное для питания рыбы на всех этапах ее развития без конкуренции за пищу, лимитируется значением 1 о.е. Все значения пищи меньше 1 о.е. приводят к недостатку в питании. Периоды времени, когда имеет место этот инцидент, определяются по графикам, представленным на рисунке 2 зеленым, коричневым и синим цветом.

На рисунке 3 представлены графики изменения во времени массы (в граммах) за двухлетний период развития 1 экз. пеляди. Как видно из рисунка, недостаток пищи в отдельные периоды жизни пеляди влияет на конечную массу рыбы. Если графики зеленого и коричневого цвета можно принять за допустимые, то график синего цвета необходимо оценить как катастрофический.

Закключение о катастрофичности процесса выращивания пеляди в условиях резкой нехватки пищи подтверждается рисунками 4 и 5. На рисунке 4 представлены графики изменения во времени биомассы пеляди, а на рисунке 5 – графики, характеризующие финансовые показатели бизнес-процесса. Как видно из рисунка 5, катастрофичность процесса приводит к отрицательным значениям оборотных средств уже на уровне $t = 0,8$ (июль 2 года), а в итоговом значении – к убытку более чем в 2 млн рублей.

Влияние промежуточного вылова сеголетков

В предыдущем пункте описан процесс с выловом части сеголетков в первый год. Представляет интерес сравнение этого варианта с вариантом двухлетнего выращивания пеляди без промежуточного вылавливания. Оба варианта рассматриваются в условиях отсутствия конкуренции за пищу.

На рисунке 6 представлены графики изменения биомассы пеляди: зеленым цветом – с промежуточным выловом, красным цветом – с выращиванием пеляди без вылова в первый год.

Суммарная биомасса пеляди к концу двухлетнего периода оценивается следующим образом:

1) с промежуточным выловом – 10 т сеголетков1 + 31 т сеголетков2 + 17 т двухлетков = 58 т рыбы;

2) без промежуточного вылова – 31 т сеголетков2 + 37 т двухлетков = 68 т рыбы.

Как видно из приведенных данных, предпочтительнее выглядит вариант без промежуточного вылова пеляди:

1) с промежуточным выловом: 41 т сеголетков х 130 руб/кг = 5,33 млн руб + 17 т двухлетков х 200 руб/кг = 3,40 млн руб. Итого: 8,73 млн рублей.

2) без промежуточного вылова: 31 т сеголетков х 130 руб/кг = 4,03 млн руб + 37 т двухлетков х 200 руб/кг = 7,40 млн руб. Итого: 11,43 млн рублей.

Выгода составляет 2,70 млн рублей.

Однако в конкретных ситуациях ведения бизнеса могут быть признаны другие критерии, определяющие выгодность промежуточного вылова пеляди. Например, условия предоставления кредита (величина, проценты, сроки), текущая и прогнозируемая цена продукции, климатические условия и пр.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная гетерогенная модель для описания процесса искусственного разведения пеляди в озере позволяет объединить разнородные компоненты (биологические и экономические) в сложную систему с взаимодействующими переменными.
2. Построение цифровой модели, основанное на реальных данных по разведению пеляди в озере Ик Омской обл., дало возможность проиграть различные сценарии развития событий с различным влиянием биотических и абиотических факторов.
3. Проведенные расчеты двухлетнего цикла выращивания пеляди с вариантами отсутствия конкуренции за пищу между поколениями пеляди и наличия такой конкуренции показали разные конечные результаты с вариациями от пренебрежимо неразличимых до катастрофических. При этом характеристика результатов наиболее ярко высвечивается экономическими переменными анализируемой сложной системы.
4. Разработанная гетерогенная модель может служить инструментом построения тактики вылова пеляди: с промежуточным выловом части сеголетков в первый год разведения или с конечным выловом всей пеляди на второй год разведения рыбы. В конкретных условиях ведения бизнеса, приведенных в статье, расчетами показано, что более выгодным является разведение пеляди без промежуточного вылова сеголетков.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Lotka A. Elements of Physical Biology. Baltimore, 1925. 460 p. (Переиздание: Lotka A.J. Elements of Mathematical Biology. New York: Dover, 1956).
2. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование / Пер. с франц. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1976. 288 с.

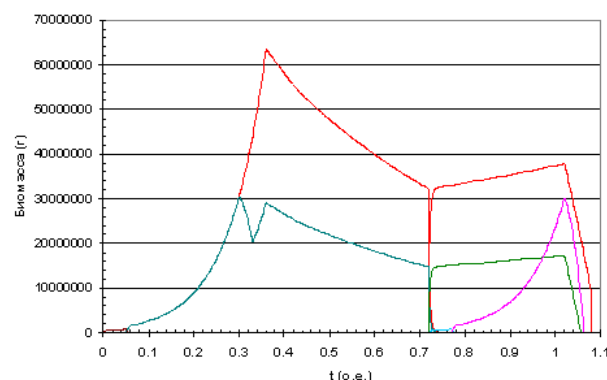


Рисунок 6. Биомасса пеляди при вариантах вылова рыбы (красный цвет – без промежуточного вылова, зеленый – с промежуточным выловом, лиловый – одинаковый для двух вариантов для сеголетков2)

Figure 6. Peled biomass for different fishing variants (red – without intermediate catch, green – with intermediate catch, purple – equal for both variants for yearlings2)

2. Vol'terra V. Matematicheskaya teoriya bor'by za sushchestvovanie / Per. s franc. M.: Nauka, Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury, 1976. 288 p.
3. Абакумов А.И. Математическое моделирование водных экосистем: история, проблемы, перспективы. Владивосток: Изд-во Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, 1987. 33 с.
3. Abakumov A.I. Matematicheskoe modelirovanie vodnyh ekosistem: istoriya, problemy, perspektivy. Vladivostok: Izd-vo Instituta avtomatiki i processov upravleniya DVO RAN, 1987. 33 p.
4. Меншуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н. Моделирование экосистем пресноводных озер (обзор). 2. Модели экосистем пресноводных озер // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, №1, С. 24-38.
4. Menshutkin V.V., Ruhovec L.A., Filatov N.N. Modelirovanie ekosistem presnovodnyh ozer (obzor). 2. Modeli ekosistem presnovodnyh ozer // Vodnye resursy. 2014. V. 41, №1, Pp. 24–38.
5. Базыкин А.Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2003. 368 с.
5. Bazykin A.D. Nelinejnaya dinamika vzaimodejstvuyushchih populjacij. Moskva-Izhevsk: Institut komp'yuternyh issledovanij. 2003. 368 p.
6. Визер А.М., Визер Л.С., Цепенков А.В., Морузи И.В., Осинцева Л.А. Питание и рост пеляди Coregonus peled (Gmelin, 1788) в крупном, периодически заморном озере Салтаим-Тенис (Западная Сибирь) // Рыбное хозяйство. 2019. №3. С. 104-107.
6. Vizer A.M., Vizer L.S., Capenkov A.V., Moruzi I.V., Osinceva L.A. Pitanie i rost pelyadi Coregonus peled (Gmelin, 1788) v krupnom, periodicheski zamornom ozere Saltaim-Tenis (Zapadnaya Sibir) // Rybnoe hozyajstvo. 2019. №3. Pp. 104-107.
7. Наумкина Д.И., Наумкин Р.И. Математическое моделирование при оценках продуктивности гаммаруса в озерах Новосибирской области // Рыбное хозяйство. 2018. №1. С. 67-72.
7. Naumkina D.I., Naumkin R.I. Matematicheskoe modelirovanie pri ocnkah produktivnosti gammarusa v ozerah Novosibirskoj oblasti // Rybnoe hozyajstvo. 2018. №1. Pp. 67-72.
8. Наумкина Д.И. Моделирование водных биоресурсов в аквакультуре // Рыбное хозяйство. 2019. №2. С. 82-85.
8. Naumkina D.I. Modelirovanie vodnyh bioresursov v akvakul'ture // Rybnoe hozyajstvo. 2019. №2. Pp. 82-85.