

Модель динамики населения птиц для мониторинга пойменных экосистем (на примере средней Оби). Сообщение 2

В. П. БОЛОТНОВ, А. М. АДАМ*

Югорский государственный университет
628012, Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16
E-mail: bolotnov07@mail.ru

*Департамент природных ресурсов
и охраны окружающей среды Томской области
634050, Томск, просп. Ленина, 1

АННОТАЦИЯ

Разработана модель динамики населения птиц в пойме реки с целью организации мониторинга пойменных экосистем, основанная на принципах системной динамики, сформулированных Д. Форрестером. Для этого использован длительный ряд наблюдений (1977–2000 гг.) в весенне-летний период в пойме средней Оби в Колпашевском районе Томской области, что позволило улучшить структуру модели. Модель реализована с помощью пакета MATLAB 5.2.1. Моделирование подтвердило гипотезу о том, что гидрологический режим является главным фактором, определяющим динамику и структуру населения птиц в пойме средней Оби.

Ключевые слова: сообщество птиц, пойма средней Оби, базовая модель, имитационное моделирование, влияние гидрорежима.

Математическое описание основных процессов и результаты моделирования. Для описания аналитической структуры модели, выражающей количественные отношения между внешними и вспомогательными переменными состояния, применен метод конечно-разностной аппроксимации. Внешние переменные модели HI , FM , TR , MG , UV заданы как функции от времени t . Плотность населения птиц в любой момент времени задана как плотность в предшествующий момент времени плюс плотность, которая добавляется за счет темпа TRP , и минус плотность, убывающая за счет темпа TDP в охватываемый период.

$$P^t = P^{t-1} + (TRP^{t-1,t} - TDP^{t-1,t}) \cdot \Delta t,$$

где P^t – плотность населения птиц в текущий момент времени, особ./км²; P^{t-1} – плотность населения птиц в предшествующий момент времени, особ./км²; $TRP^{t-1,t}$ – темп прироста плотности на интервале времени $\Delta t = \{t - 1, t\}$, особ./км²; $TDP^{t-1,t}$ – темп уменьшения плотности на интервале $\Delta t = \{t - 1, t\}$ (особ./км²); Δt – временной интервал или временной шаг.

Темп прироста плотности представляет собой составную часть петли положительной обратной связи. Базисный (основной) темп прироста зависит от плотности (P) и нормального темпа прироста плотности (TRP). Однако реальный темп прироста плотности населения зависит еще и от условий в других

Болотнов Владимир Петрович
Адам Александр Мартьянович

частях системы (антропогенного фактора, гидрологического режима и др.). Влияние со стороны других частей системы вводится множителями, которые модифицируют базисный темп прироста плотности населения птиц. При нормальных условиях, которые при сравнении принимаются за отправную точку, множители не должны изменять базисный темп прироста плотности населения птиц и равны единице. Дальше они могут принимать значения больше или меньше единицы. Уравнение TRP имеет вид:

$$TRP^{t,t+1} = P^t \cdot NTPP \cdot MTPF \cdot MTPS \cdot MPDP \times \\ \times MPMG \cdot MPFM,$$

где $TRP^{t,t+1}$ – темп прироста плотности на последующем интервале, особ./км²; P^t – плотность в текущий момент, особ./км²; $NTPP$ – нормальный темп прироста плотности, 1/ t ; $MTPF$ – множитель зависимости темпа прироста от антропогенных факторов; $MTPS$ – множитель зависимости темпа прироста от остаточной площади; $MPDP$ – множитель зависимости темпа прироста от длительности паводка; $MPMG$ – множитель зависимости темпа прироста от миграций; $MPFM$ – множитель зависимости темпа прироста от фитомассы.

Темп уменьшения плотности населения птиц представляет собой составную часть отрицательной обратной связи. Базисный темп уменьшения равен плотности P , умноженной на нормальный темп уменьшения плотности $NTDP$. Реальный темп уменьшения зависит от условий в других частях системы. Мелиорация, хищничество, гидрологический и температурный режимы и фитомасса лугов влияют на TDP посредством множителей. Уравнение TDP имеет вид:

$$TDP^{t,t+1} = P^t \cdot NTDP \cdot MTDS \cdot MDDP \cdot MTDT \times \\ \times MDHI \cdot MDFM \cdot MTDM \cdot MDMG,$$

где $TDP^{t,t+1}$ – темп уменьшения плотности на последующем интервале, особ./км²; $MTDS$ – множитель зависимости темпа уменьшения от остаточной плотности; $MDDP$ – множитель зависимости темпа уменьшения от длительности паводка; $MTDT$ – множитель зависимости темпа уменьшения от температуры; $MDHI$ – множитель зависимости темпа уменьшения от хищничества; $MDFM$ – множитель

зависимости темпа уменьшения от фитомассы; $MTDM$ – множитель зависимости темпа уменьшения от мелиорации; $MDMG$ – множитель зависимости темпа уменьшения от миграции.

Антропогенный фактор в модели включен в петлю положительной обратной связи с уровнем P . Предполагается, что переменная AF является монотонно возрастающей функцией времени. Таким образом, в настоящий момент времени она определяется его значением в предыдущий момент времени плюс усиления TUF :

$$AF^t = AF^{t-1} + TUF^{t-1,t} \cdot \Delta t,$$

где AF^t , AF^{t-1} – значение антропогенных факторов в текущий и предшествующий моменты времени; $TUF^{t-1,t}$ – темп усиления фактора на предшествующем интервале 1/ t ;

Темп усиления TUF равен базисному темпу или в данном случае нормальному темпу усиления антропогенного фактора, умноженному на множитель зависимости TUF от плотности ($MTUP$). Этот множитель в нормальных условиях равен единице и начинает работать в экстремальной ситуации, когда резко снижается плотность населения птиц:

$$TUF^{t,t+1} = NTUF \cdot MTUP^t,$$

где $TUF^{t,t+1}$ – темп усиления фактора на последующем интервале 1/ t ; $NTUF$ – нормальное значение антропогенного фактора 1/ t ; $MTUP^t$ – значение множителя $MTUP$ в текущий момент времени.

Рассмотрим теперь математическое описание вспомогательных переменных: переменная UV является функцией времени и задается априори: $UV = F(t)$, переменная TR также является прогнозируемой функцией времени $TR = \Phi(t)$.

В модели переменная HI определяется ее значением в нормальных условиях и состоянием двух множителей в конкретный момент времени, т. е.

$$HI^t = NHI \cdot MHSO^t \cdot MHIF^t,$$

где HI^t и NHI – показатели хищничества в текущий момент времени и соответствующие нормальным условиям; $MHSO^t$, $MHIF^t$ – множители зависимости хищничества от остаточной площади и антропогенного фактора.

Длительность затопления поймы половодьем и остаточная площадь зависят только от уровня воды:

$$DP = \Psi(UV), \quad SO = \Omega(UV), \quad MG = \Lambda(UV).$$

Переменная M в модели представлена относительной величиной $\frac{S_m}{S}$, где S_m – площадь мелиоративных земель, S – площадь Колпашевского района.

Показатель фитомассы в текущий момент времени определяется ее нормальным значением, умноженным на множитель зависимости фитомассы лугов от длительности паводка ($MPFU$):

$$FM^t = NFM \cdot MFDP^t,$$

где FM^t – фитомасса в момент времени t , ц/га; NFM – нормальное значение фитомассы, ц/га; $MFDP^t$ – множитель зависимости фитомассы от длительности половодья в текущий момент времени.

Уравнение начальных условий записывается следующим образом: t_0 – начальная точка отсчета, P_0 – начальная плотность населения птиц, особ./км².

Значения TPP , TDP и TUF , необходимые для первого просчета модели, имеют вид:

$$TPP^{t_0, t_0+1} = P_0 \cdot NTPP \cdot MTPS \cdot MPDP \times \\ \times MTPF \cdot MPPM,$$

$$TDP^{t_0, t_0+1} = P_0 \cdot NTDP \cdot MTDS \cdot MDDP \times \\ \times MTDT \cdot MDHI \cdot MDFM \cdot MTDM,$$

$$TUF^{t_0, t_0+1} = NTUF \cdot MTUP^{t_0}.$$

В системе используются следующие типы уравнений: уровней, темпов, вспомогательные (описывающие вспомогательные переменные) и начальных условий.

При рассмотрении какого-либо интервала времени в первую очередь решаются уравнения уровней (считается, что уравнения начальных условий решены заранее). Затем полученные результаты используются в уравнении темпов. Вспомогательные уравнения вводятся для удобства и решаются сразу после решения уравнений уровней.

Общая схема уравнений имеет вид:

$$P^0 = P_0;$$

$$TPP^{t_0, t_0+1} = P_0 \cdot NTPP \cdot MTPF \cdot MTPS \cdot MPDP \times \\ \times MPMG \cdot MPFM;$$

$$TDP^{t_0, t_0+1} = P_0 \cdot NTDP \cdot MTDS \cdot MDDP \cdot MTDT \times \\ \times MDHI \cdot MDFM \cdot MTDM \cdot MDMG;$$

$$TUF^{t_0, t_0+1} = NTUF \cdot MTUP^{t_0};$$

$$AF^{t_0} = AF_0;$$

$$P^t = P^{t-1} + (TPP^{t-1, t} - TDP^{t-1, t}) \cdot \Delta t;$$

$$TPP^{t, t+1} = P^t \cdot NTPP \cdot MTPF \cdot MTPS \cdot MPDP \times \\ \times MPMG \cdot MPFM;$$

$$TDP^{t, t+1} = P^t \cdot NTDP \cdot MTDS \cdot MDDP \cdot MTDT \times \\ \times MDHI \cdot MDFM \cdot MTDM \cdot MDMG;$$

$$AF^t = AF^{t-1} + TUF^{t-1, t} \cdot \Delta t;$$

$$TUF^{t, t+1} = NTUF \cdot MTUP^t,$$

$$UV = F(t);$$

$$DP = \Psi(UV);$$

$$SO = \Omega(UV);$$

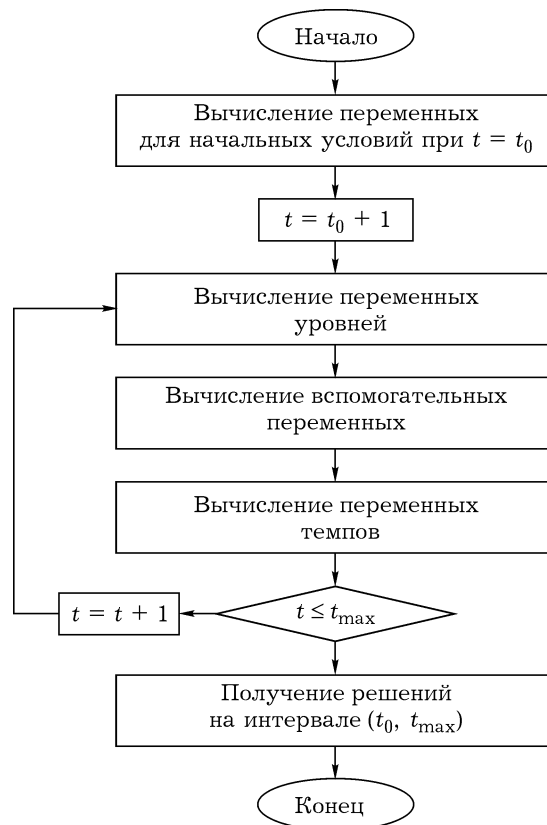


Рис. 1. Логическая схема вычислительного процесса системы уравнений

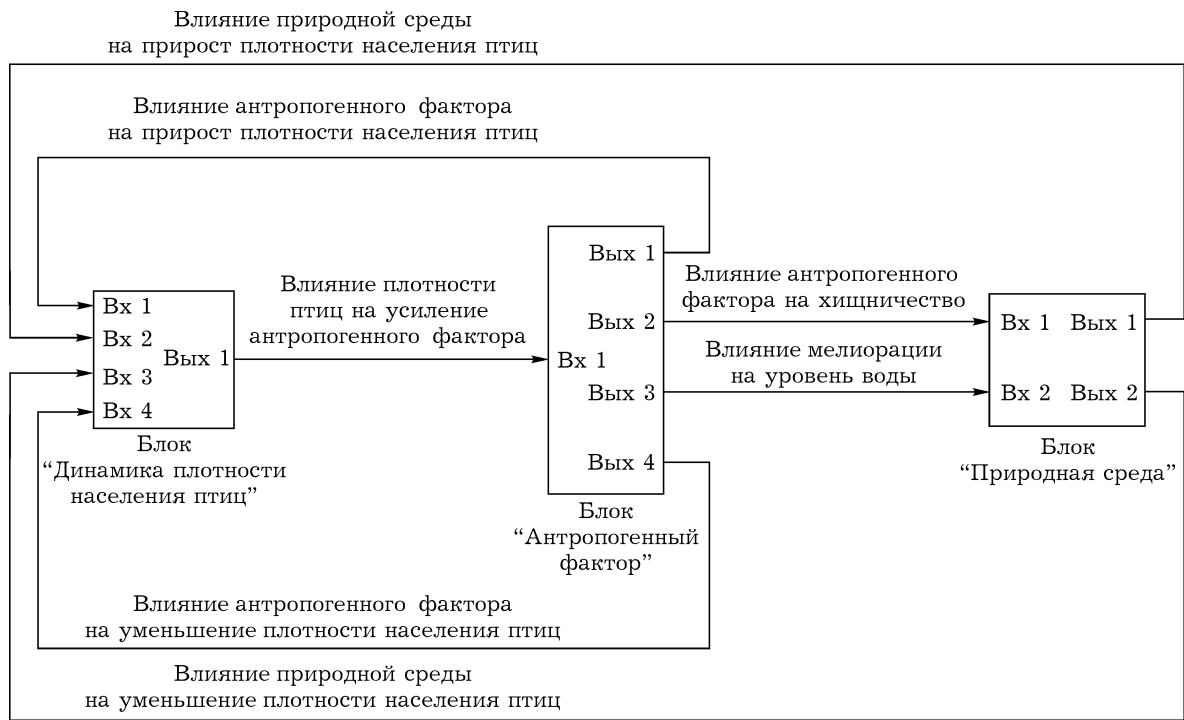


Рис. 2. Базовая модель динамики населения птиц в пойме р. Оби, реализованная с помощью пакета MATLAB 5.2.1

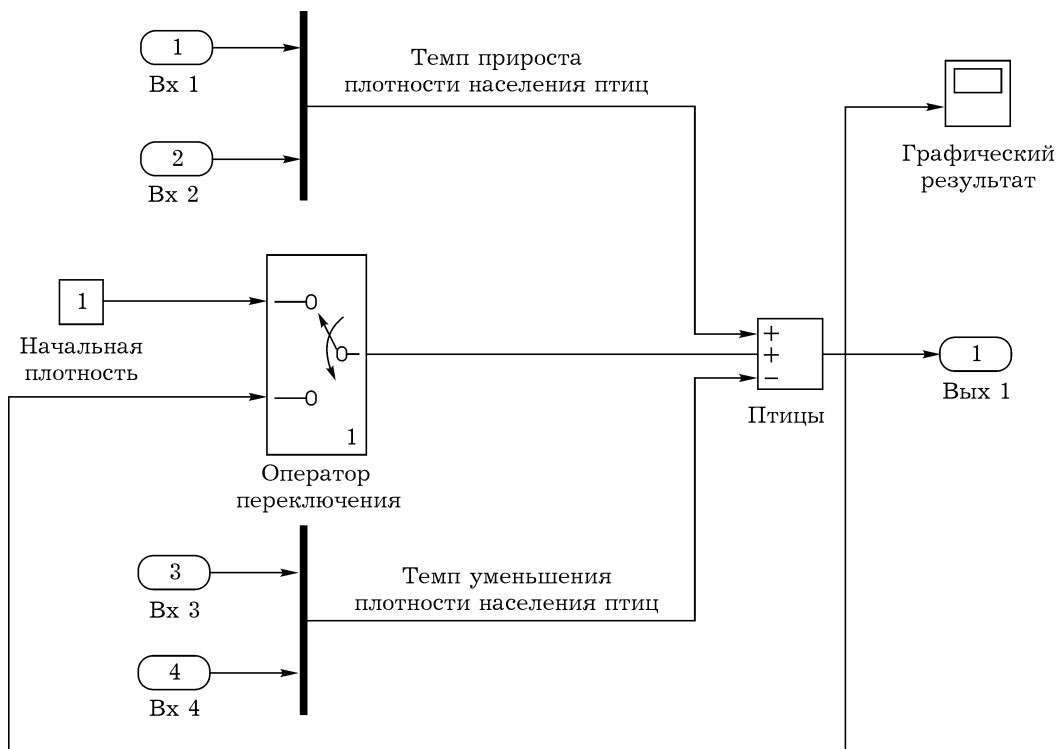


Рис. 3. Блок "Динамика населения птиц"

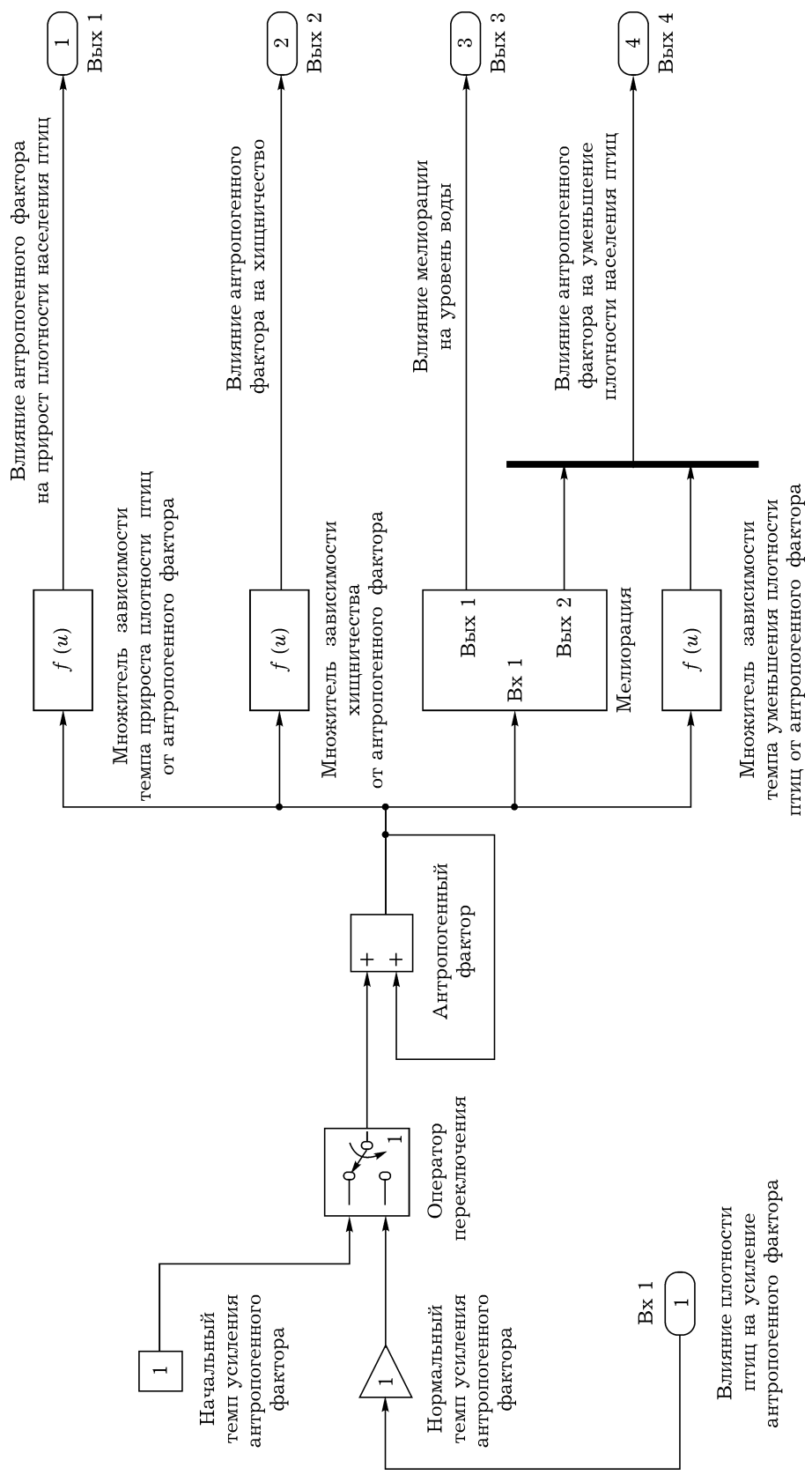


Рис. 4. Блок “Антропогенный фактор”

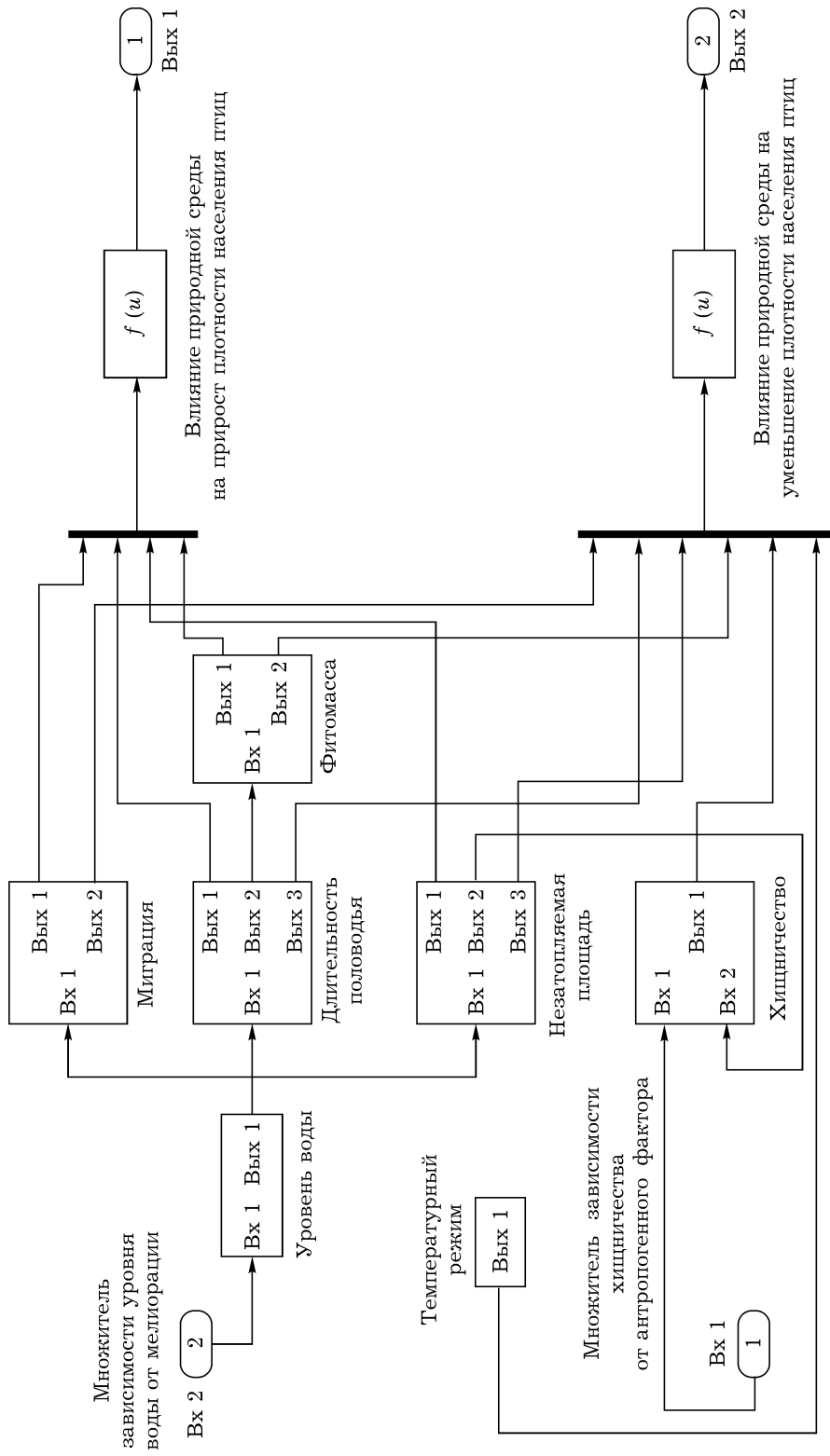


Рис. 5. Блок "Природная среда"

$$\begin{aligned}
TR &= \Phi(t); \\
MG &= \Lambda(UV); \\
HI^t &= NHI \cdot MHSO^t \cdot MHIF^t; \\
M &= f(t); \\
FM^t &= NFM \cdot MFDP^t.
\end{aligned}$$

Организация цикла вычислений выполнена по схеме (рис. 1). Значение любого множителя выбирается автоматически из составленных таблиц множителей за каждый год. Модель реализована также с помощью пакета MATLAB 5.2.1. [1, 2]. Выбор этого пакета обусловлен тем, что он включает в себя систему визуального моделирования SIMULINK. SIMULINK позволяет сочетать два основных подхода к созданию модели: аналитический и имитационный, рассматривать нелинейные задачи с непрерывным и дискретным временем. В SIMULINK имеется библиотека блоков, которые являются средствами для разработки и построения моделей (S-моделей). Можно создавать новые элементы и группировать их в блоки и создавать иерархические модели. Допускается построение S-моделей с иерархической структурой неограниченной вложенности. Результаты можно выводить как в графическом, так и в цифровом виде. Процесс построения S-моделей средствами SIMULINK заключается в сборке схемы из блоков, хранящихся в библиотеке SIMULINK. Для сборки S-модели используется технология Drag-and-Drop (перетаски и вставка), что облегчает работу над моделью.

S-модель, имеющая иерархическую структуру и включающая в себя три основных бло-

ка и связи между ними: “Динамики плотности населения птиц”, “Антропогенный фактор” и “Природная среда”, каждый из которых является моделью более низкого уровня, показана на рис. 2–5.

Количественное представление уровней, темповых и вспомогательных переменных осуществлялось на основе экспериментальных данных о реальной системе. При определении констант и переменных в качестве точек отсчета взяты условия 1977 г., т. е. состояние системы описывалось по отношению к этому году. Динамика плотности населения птиц прослеживалась на отрезке времени с 1977–2000 гг., причем рассматривался весенне-летний период в условиях каждого года. Шаг моделирования принят равным одному году. Все переменные модели характеризовались относительными величинами.

Результаты, полученные при моделировании, представленные на рис. 6, подтвердили предположение о том, что гидрологический режим является главным фактором, регулирующим численность птиц. Из анализа полученных данных следует, что максимальную плотность птиц в пойме средней Оби определяют половодья – 50 % обеспеченности, а минимальное значение плотности определяют низкие половодья – менее 75 % обеспеченности и высокие половодья – более 25 % обеспеченности. Развитие мелиорации сократило сроки затопления поймы, нарезание каналов привело к увеличению водоплавающих и околоводных групп птиц в первую половину лета, а быстрое обсыхание поймы привлекало птиц разнотравных лугов.

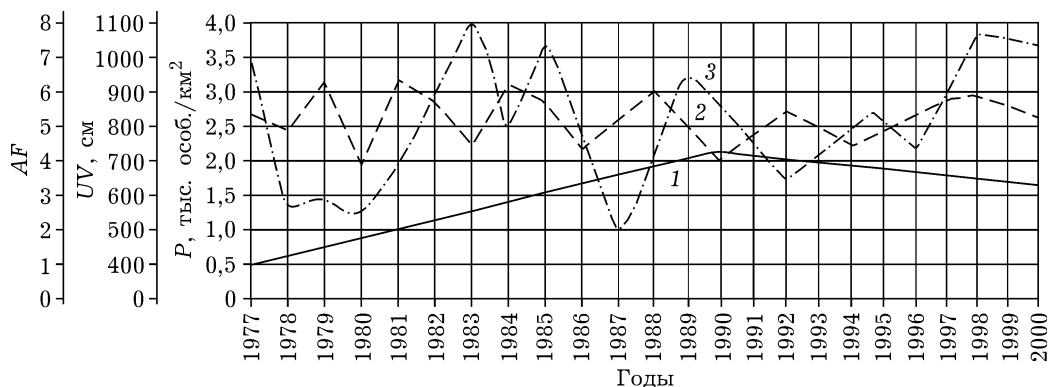


Рис. 6. Соотношение основных величин, характеризующих состояние орнитокомплекса, при изменении антропогенного фактора: 1 – AF, 2 – UV, 3 – P

Однако фактор беспокойства, уничтожения гнезд, обусловленный работой техники, привели к сокращению плотности населения птиц 1990–1997 гг. и перестройке структуры сообщества птиц в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Антропогенные воздействия, связанные с частичным изменением гидрологического режима и хозяйственным использованием пойменных земель при умеренных масштабах мелиорации, не оказывают существенного влияния на динамику птиц. Если площадь мелиоративных работ увеличится до 50 % от общей площади поймы, то сложившаяся экосистема будет разрушаться в условиях самых низких паводков (75 % обеспеченности и ниже) и не сможет восстанавливаться на протяжении 4 лет. Необходимо контролировать масштабы мелиоративных работ и не до-

пускать в системе начала необратимых разрушительных процессов.

Построенная модель имеет теоретический и прикладной характер. Структуру модели можно использовать как базовую для биотических компонентов пойменной экосистемы при прогнозировании основных тенденций их поведения и мониторинга. Она выполнена для компонента, который играет индикаторную роль. Введение определенных изменений в показатели водного режима позволяет установить верхний и нижний пределы, при переходе через которые начинается общая перестройка пойменной экосистемы в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулятьев А. К. MATLAB 5.2.1. Имитационное моделирование в среде Windows: Практическое пособие. СПб.: КОРОНА принт, 1999. 288 с.
2. Дьяконов В. П., Абраменкова И. В., Круглов В. В. MATLAB 5.2.1 с пакетами расширений. М.: Нолидж, 2001, 880 с.

Model of the Dynamics of Bird Population for Floodplain Ecosystem Monitoring (for the Middle Reach of the Ob as Example) Communication 2

V. P. BOLOTNOV, A. M. ADAM*

*Yugra State University
628012, Khanty-Mansiysk, Chekhov str., 16
E-mail: bolotnov07@mail.ru*

**Department of natural resources and environmental protection of the Tomsk Region
634050, Tomsk, Lenin ave., 1*

Model of the dynamics of bird population in the floodplain of the river was developed for the purpose of establishing monitoring of floodplain ecosystems. The model is based on the principles of system dynamics formulated by D. Forrester. Long-term observations (1977–2000) during spring and summer in the floodplain of the middle Ob in the Kolpashevo district of the Tomsk Region were used for this purpose, which allowed us to improve the structure of the model. The model was realized with the help of MATLAB 5.2.1 package. Modeling confirmed the hypothesis that the hydrological regime is the main factor determining the dynamics and structure of bird population in the floodplain of the middle Ob.

Key words: bird community, the middle Ob floodplain, basic model, imitation modeling – effect of hydroregime.