

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕЙ ОБИ)

В.П. Болотнов

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск
Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск
E-mail: bolotnov07@mail.ru

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.

Птицы – важный компонент экосистем. Они выполняют функцию консументов первого и второго порядка в трофической цепи экосистемы. Главным фактором, определяющим годовую динамику населения птиц в Западной Сибири, являются миграции. Осенью большая часть населения птиц улетает на юг, весной – возвращается, причем время возвращения совпадает с периодом прохождения весенних половодий на р. Оби. Этот период совпадает также с фазой вывода потомства. Пойма р. Оби в первую очередь привлекает птиц. Это связано с тепляющим действием вод, перемещаемых рекой с юга на север, и с более продуктивными и разнообразными условиями обитания, чем на плакорной (водораздельной) территории. Долина р. Оби является своего рода воздушным каналом, по которому проходит перемещение основного количества птиц весной. Особенно благоприятны годы, по своим показателям водности близкие к среднемноголетним значениям, неблагоприятны – маловодные или очень многоводные годы [1–3]. Таким образом, птицы с точки зрения мониторинга состояния пойменной экосистемы служат хорошим индикатором ее состояния по гидротермическим условиям. Кроме того, они занимают важное место в природопользовании региона, т. к. значительная часть населения птиц из группы водоплавающих, является важным охотничье-промысловым ресурсом, активно используемым местным населением, и привлекает любителей охоты из других регионов.

В начале 80-ых гг. прошлого века были разработаны различные крупномасштабные проекты изменения стока р. Оби в результате сооружения водохранилищ ГЭС (Катунская на р. Оби, Крапивинская на р. Томи), переброски части стока на Юг, региональные проекты изменения обводнения территории в форме сельскохозяйственных и рыбных мелиораций, которые вызвали локальные изменения условий затопления поймы Средней Оби. В это же время была сформирована схема взаимодействия населения птиц и водного режима р. Оби [1–4]. Накопление эмпирических данных в дальнейшем позволило перейти к построению модели динамики населения птиц в среднем течении

р. Оби. Она представлена в виде структурной схемы модели, математического описания (система уравнений и графики связи между компонентами экосистемы, построенных по реальным данным) и дополнена результатами моделирования реального объекта, которые позволили улучшить ее структуру.

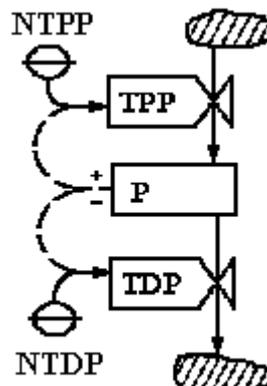


Рис. 1. Основные петли прямой и обратной связи в структуре модели

Модель динамики населения птиц построена на основе принципов системной динамики, предложенной Дж. Форрестером [5]. За основу было принято понятие фазовых координат системы, характеризующих состояние системы в данный момент времени. Если известны внешние воздействия на систему, то знание фазовых координат в некоторый момент времени позволяет определить состояние системы в последующие моменты. Вслед за Дж. Форрестером для обозначения этого показателя использован термин «уровень», а для характеристики его изменений – «темп». Основными ячейками, из которых построена система, являются цепи прямой и обратной связи. Темпы потока служат причиной изменения уровней. Сведения об уровнях являются входными в уравнениях темпов, которые управляют темпами потоков. Переменные темпов потока в очередь зависят только от информации об уровнях. Один уровень через темпы потока действует на другой. Две основные петли, которые влияют на величину плотности населения птиц, представлены на рис. 1. Верхняя петля опре-

деляет темп прироста плотности (TPP), нижняя – темп уменьшения плотности (TDP). $NTPP$ и $NTDP$ – нормальные темпы прироста и диссипации (убывания) плотности населения птиц, соответствующие среднемноголетним условиям.

Имитационная модель построена для центрального района Обской поймы Томской области площадью 4142 км², расположенного в пределах административных границ Колпашевского района. Для этого были использованы многолетние наблюдения (1977–2000), проведенные в весенне-летние периоды, когда подробно изучалось влияние весенних половодий и других экологических факторов на пространственно-временную структуру населения птиц. Средняя численность населения птиц колеблется в пойме реки от 1000 особей/км² (ивовые леса) до 47 особей/км² на р. Оби. Максимальная плотность населения птиц отмечена в поселках по берегам реки, которая колеблется от 1,5 тыс. особей/км² в первой половине лета до 4 тыс. особей/км² во второй половине лета. Величина показателей сокращается с уменьшением сложностей места обитания, понижения рельефа местности и увеличением увлажненности (от лесов и кустарников к лугам высоких грив, лугам низин, озерам и водотокам). Во второй половине лета почти во всех местообитаниях наблюдается увеличение обилия птиц в 1,5 раза. В лесных местообитаниях по обилию доминирует дубровник, московка и ополовник, в кустарниковых – камышовая овсянка. Дубровник и камышовая овсянка входят также в число доминантов на лугах. На увлажненных и переувлажненных лугах и озерах велико обилие певчего сверчка и чирка-трескунка. На р. Оби и протоках доминирует береговая ласточка. Для поселков свойственно обилие полевой воробья и деревенской ласточки. Всего обитает около 128 видов птиц, которые делятся на 6 экологических групп по местам обитания: лесокустарниковые – 59 видов, птицы сухих лугов – 9 видов (перепел, полевой жаворонок), птицы увлажненных лугов – 12 видов (коростель, дупель, бекас), водно-болотные птицы на переувлажненных и затопленных лугах – 8 видов (выпь, крякva), птицы водоемов – 21 вид (чирок-свистунок, красноголовый нырок, хохлатая чернеть), птицы, связанные с поселками – 11 видов (деревенская ласточка, домовый и полевой воробьи) [1]. По величине межгодовых изменений наиболее динамична группа птиц увлажненных лугов.

Модель отражает взаимодействие биологического компонента экосистемы поймы – птиц с внешними природными условиями, т. е. рассматривается система «биокомпонент – окружающая среда» на основе принципов саморегуляции. Окружающая среда включает в себя территорию обитания вида, растительность, климатический фактор, воздействие половодий. Половодье является ведущим фактором для данной территории. Под обозначением AF – антропогенный фактор, которое используется в модели, понимается сумма антропогенного

воздействия и изменений окружающей среды ($AF+OC$). Данным обозначением подчеркнута ведущее значение этого фактора в динамике системы, т. к. антропогенный фактор может изменять природные условия более чем на 50 % через изменение условий затопления поймы (сельскохозяйственную и рыбную мелиорации), отстрел птиц во время весенней охоты, фактор беспокойства во время сенокосения, рыболовства, рекреации и т. д. Типичным в моделях подобного рода является использование системы «компонент экосистемы – окружающая среда – антропогенный фактор». В данной системе блок AF носит ярко выраженную социальную функцию и определяется экономическими и социальными законами общества. Анализ организации этого блока на данном этапе не имеет большого значения, т. к. модель носит прогностический характер к реальным изменениям водного режима. Действие социального фактора задавалось через ограничение или изменение действия природных факторов. Ориентация концепции модели для целей управления регионом потребует создания социального блока. Сейчас формируются подходы к формированию социального блока (AF) на основе эколого-экономических критериев природопользования, которые представлены в работах [3, 4].

Структура модели. На рис. 2 показана концепция имитационной модели, отражающей связи динамики плотности населения птиц с абиотическими, биотическими и антропогенными факторами природно-территориального комплекса поймы Средней Оби. В ней отражены основные взаимосвязи между переменными (факторами), вошедшими в модель. В качестве уровней, на которых строится структура системы, выбраны плотность населения птиц (P) и антропогенные факторы (AF). Обозначения неправильной формы («облакообразные») – источники или поглотители материальных потоков лежат вне системы. Любая замкнутая цепочка представляет собой петлю обратной связи. Введенный в схему уровень – антропогенный фактор (AF), отражает разумную деятельность человека, которая должна приводить к положительному эффекту, следовательно, AF вызывает рост численности птиц. Доля вмешательства человека в природу, которое несет за собой отрицательные последствия – браконьерство, разорение гнезд, изменение естественных мест обитания, приводит к сокращению численности птиц. Подобные явления учтены переменной «хищничество» (HI). Между уровнями (P) и (AF) существует и обратная связь. Суть ее заключается в том, что при высокой плотности населения птиц большее их количество попадает под влияние человеческой деятельности. Она реализуется посредством множителя ($MTUP$), который увеличивает темп усиления антропогенного фактора (TUF), или оставляет его неизменным в зависимости от значения плотности. Изменение человеком уровней весенних половодий выражается множителем зависимости уровня от антропогенного фактора (MUF).

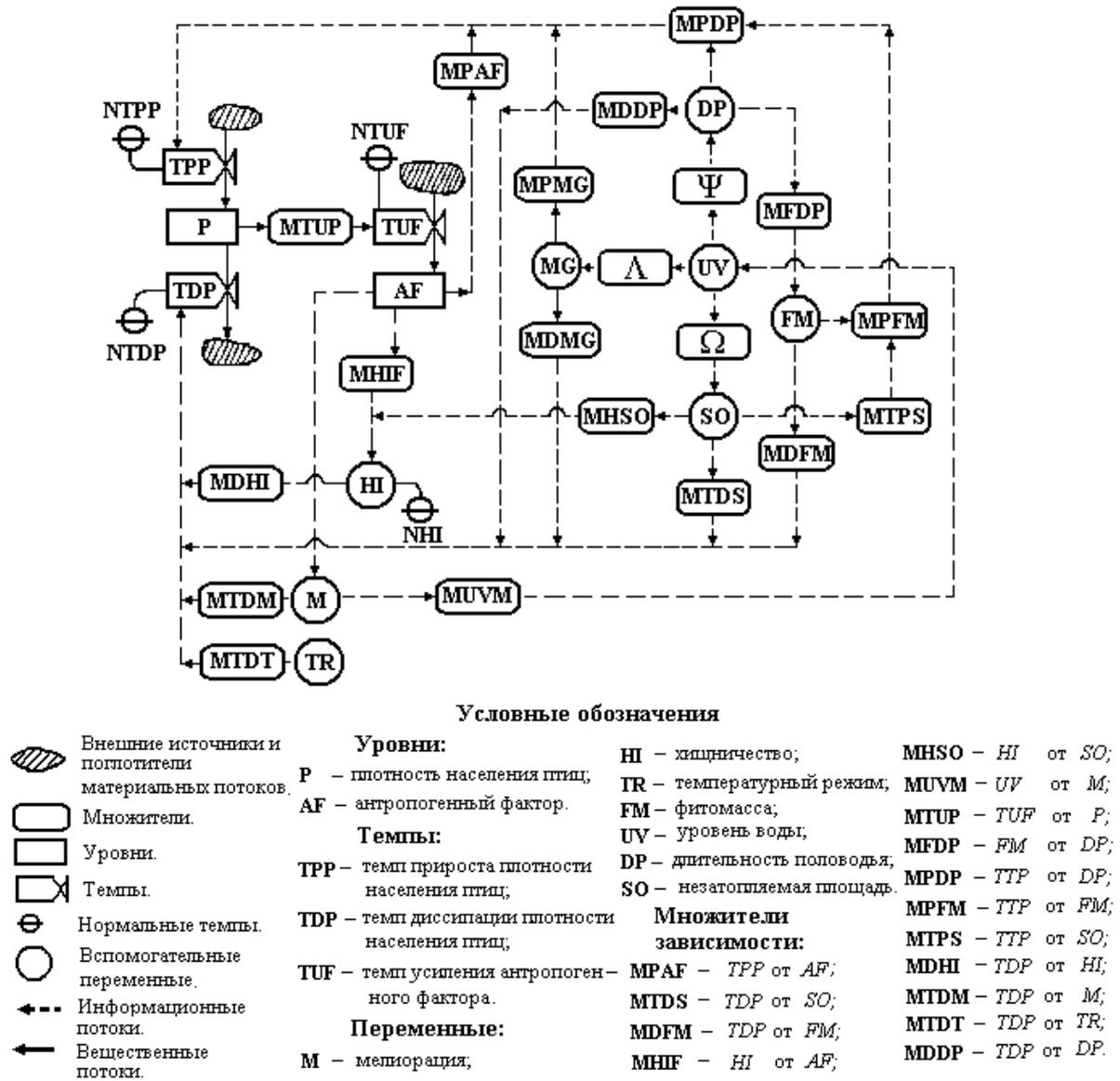


Рис. 2. Структура модели динамики плотности населения птиц в пойме Средней Оби

На территории Колпашевского района Томской области с 1971–1989 гг. велись мелиоративные работы. Проведенное исследование показало, что влияние мелиорации на численность птиц существенно. Это позволило выделить ее отдельно в виде переменной (*M*). Влияние мелиорации на темп уменьшения численности птиц описывается множителем зависимости темпа уменьшения численности от мелиорации (*MTDM*).

Пространственно-временную структуру и плотность населения птиц в пойме определяют ежегодные весенние половодья. Их уровни, сроки и продолжительность влияют на распределение птиц по типам урочищ в зависимости от их высотного расположения и на видовой состав орнитокомплексов. Гидрологический режим в модели задается переменными: уровень воды (*UV*), длительность половодья (*DP*) и незатопляемая площадь (*SO*). Низкие половодья вызывают сни-

жение плотности населения птиц из-за свободного распределения по территории поймы луговых и кустарниковых сообществ, миграции водоплавающих, и наоборот, высокие половодья увеличивают плотность населения птиц. В модели миграция задается переменной (*MG*), которая является функцией от *UV*.

Зависимость миграции от уровня воды реализуется через множитель зависимости *MG* от *UV* (*MMGU*). Зависимости *TPP* и *TDP* от *MG* реализуются через множители *MPMG* и *MDMG* соответственно. Величина незатопляемой площади определяет такие жизненно важные условия, как наличие территории для гнездования, трофические ресурсы и гибель от хищничества. При высоких половодьях происходит концентрация птиц на незатопленной территории (*SO*) и наблюдается приток водоплавающих. При этом увеличивается процент гибели птенцов от хищничества, а перенаселен-

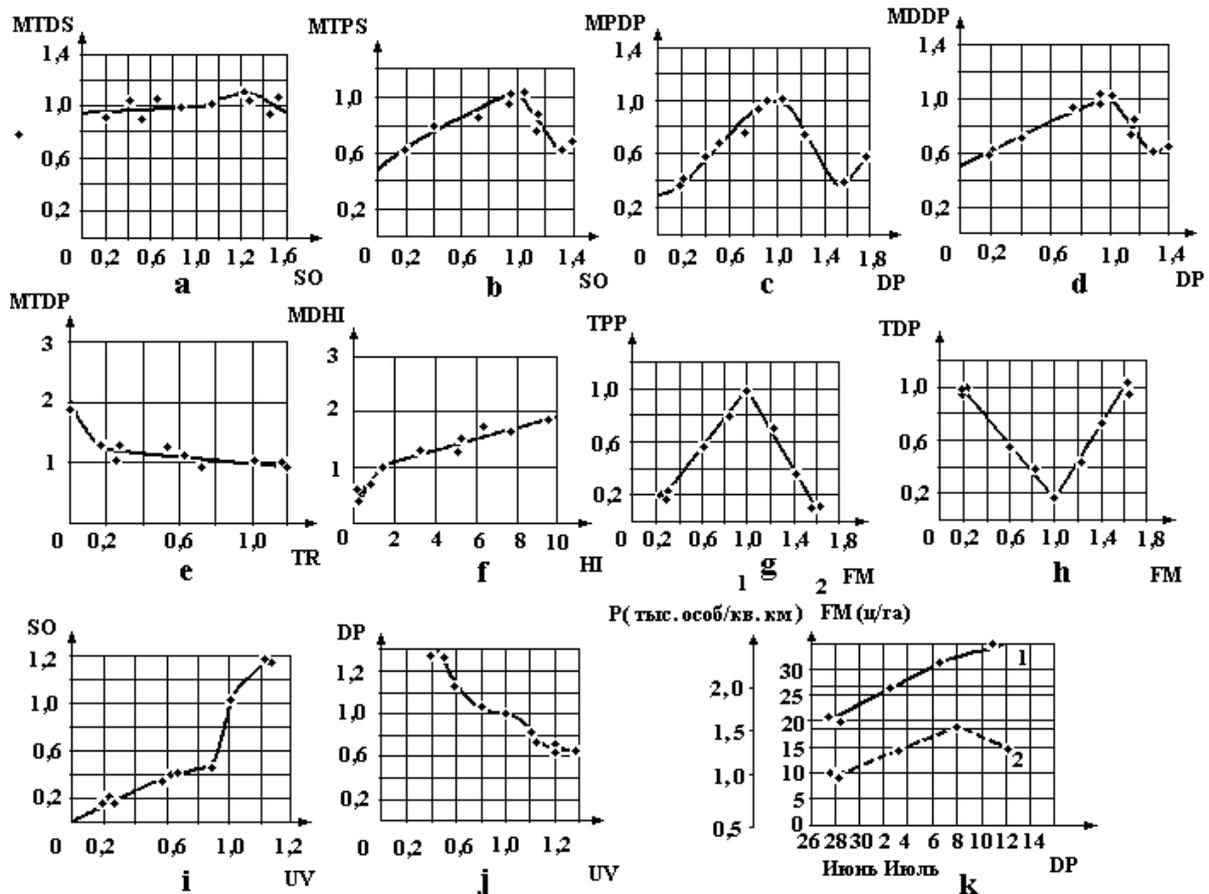


Рис. 3. Эмпирические графики основных множителей модели

ность территории птицами снижает их плодовитость. Таким образом, существуют зависимости TPP и TDP от величины SO . В модели они реализуются через множитель зависимости темпа прироста плотности населения птиц от незатопляемой площади ($MTPS$) и множитель зависимости темпа уменьшения плотности от незатопляемой площади ($MTDS$) (ниже приведены только некоторые графики зависимостей, рис. 3).

На темп прироста и диссипации плотности населения птиц влияет длительность половодья (DP), которая является функцией уровня воды. Его величина модифицирует темп прироста плотности населения птиц (TPP) и темп диссипации населения птиц (TDP) через множители зависимости темпы прироста и диссипации плотности населения птиц от длительности половодья ($MPDP$, $MDDP$) (рис. 3с, 4д).

Резкое понижение температур (заморозки) в гнездовой период приводит к сокращению численности птиц за счет гибели птенцов и кладок. Для учета воздействия температуры в модель введена переменная температурного режима (TR), влияющая на TDP через множитель зависимости темпа уменьшения плотности от температуры ($MTDT$) (рис. 4е).

Одним из факторов, лимитирующих численность птиц, является хищничество, которое особенно заметно сказывается в период гнездования. Под хищничеством подразумевается непосред-

ственное влияние на птиц хищных видов животных и способствующее ему косвенное воздействие человека (лишение гнезд защитных условий в процессе сенокосения, демаскировка гнезд и выводков фактором беспокойства и т. п.). В модели хищничество представлено в виде переменной (HI), которая через множитель зависимости темпа уменьшения плотности от хищничества ($MDHI$) влияет на TDP , рис. 4ф. Хищничество в некоторой степени зависит от свободной от воды площади — SO , как указывалось выше, возрастает при уменьшении площадей, пригодных для гнездования птиц. Эта связь выражена множителем зависимости хищничества от незатопляемой площади ($MHISO$).

В структуру модели включена вспомогательная переменная — фитомасса лугов (FM), которая выражает высоту луговой растительности и занимаемую ею площадь. Причем, при больших и малых ее показателях численность птиц уменьшается. Показатель фитомассы лугов (FM) действует на TDP через множитель зависимости темпа уменьшения плотности от фитомассы ($MDFM$), а на TPP через множитель зависимости темпа прироста плотности от фитомассы ($MPFM$). Известно, что на продуктивность лугов в пойме влияет длительность затопления поймы во время половодий [6]. В модели это выражено через множитель зависимости темпа фитомассы от длительности половодья ($MFDP$) (рис. 4к).

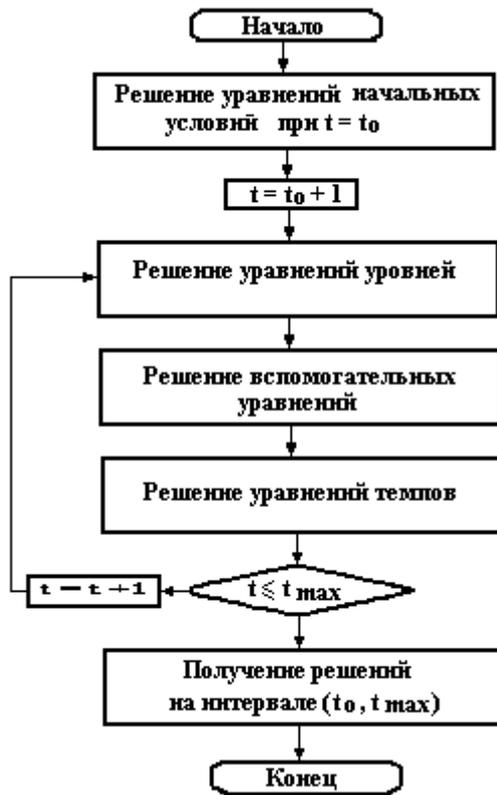


Рис. 4. Логическая схема вычислительного процесса системы уравнений

Для птиц, населяющих пойму, обычны миграции, обусловленные характером весенних половодий. Причем, чем большее количество птиц претендует на гнездовье, тем большее действие оказывают весенние половодья.

Продолжительность и высокое стояние паводковых вод приводит к увеличению численности водоплавающих при общей тенденции снижения плотности населения птиц. Очень низкие половодья уменьшают долю водных и околоводных птиц и вызывают миграцию сухоходольных видов с плакорной части в пойму. Оптимальное состояние населения птиц наблюдается в годы с высокими, но непродолжительными половодьями. В модели миграция птиц представлена в виде переменной (MG), а зависимости выражены через множители прироста плотности ($MPMG$) и уменьшение плотности населения птиц от миграции ($MDMG$).

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 заданы как плотность в предшествующий момент времени, плюс плотность, которая добавляется за счет темпа TPP , и минус плотность, убывающая за счет темпа TDP в охватываемый период:

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

где P^t и P^{t-1} – плотности населения птиц в текущий и предшествующий момент времени, особ/км²; $TPP^{t-1,t}$ ($TDP^{t-1,t}$) – темпы прироста (уменьшения) плотности на интервале времени; 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 ($NTPP$). Однако реальный темп прироста плотности населения зависит еще и от условий в других частях системы (антропогенного фактора, гидрологического режима и др.). Влияние со стороны других частей системы вводятся множителями, которые модифицируют базисный темп прироста плотности населения птиц. При нормальных условиях, которые при сравнении принимаются за отправную точку, множители не должны менять базисный темп прироста плотности населения птиц и равны единице. Далее они могут принимать значения больше или меньше единицы. Уравнение TPP имеет вид:

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

где $TPP^{t,t+1}$ – темп прироста плотности на последующем интервале, особ/км²; P^t – плотность в текущий момент, особ/км²; $NTPP$ – нормальный темп прироста плотности, (1/ t); $MTPF$, $MTPS$, $MPDP$, $MPMG$, $MPFM$ – множители зависимости темпа прироста от: антропогенных фактов; остаточной площади; длительности паводка; миграций; 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; $MTDS$, $MDDP$, $MTDT$, $MDHI$, $MDFM$, $MTDM$, $MDMG$ – множители зависимости темпа уменьшения от: остаточной плотности; длительности паводка; температуры; хищничества; фитомассы; мелиорации; миграций.

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 как:

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

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, то есть:

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

где HI и NHI – показатели хищничества в текущий момент времени и соответствующий 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 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:

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

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

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

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:

$$P^0 = P_0;$$

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

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

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

$$AF^{t_0} = AF_0; \quad P^t = P^{t-1} + (TPP^{t-1,t} - TDP^{t-1,t}) \cdot \Delta t;$$

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

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

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

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

$$UV = F(t); \quad DP = \Psi(UV); \quad SO = \Omega(UV); \quad TR = \Phi(t);$$

$$MG = \Lambda(UV); \quad HI^t = NHI \cdot MHSO^t \cdot MHIF^t;$$

$$M = f(t); \quad FM^t = NFM \cdot MFDP^t.$$

Организация цикла вычислений выполнена по схеме – рис. 4. Значение любого множителя выбирается автоматически из составленных таблиц множителей за каждый год. Модель реализована с помощью пакета MATLAB 5.2.1.

Количественное представление уровневых, 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 был принят равным одному

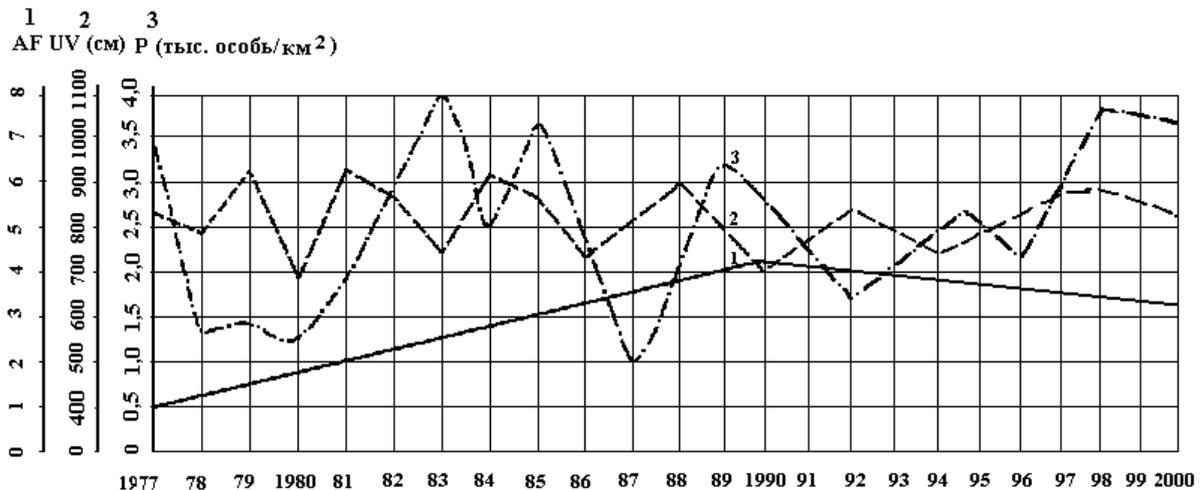


Рис. 5. Соотношение основных величин, характеризующих состояние орнитокомплекса при изменении антропогенного фактора

году. Все переменные модели характеризовались относительными величинами.

Результаты, полученные при моделировании, 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.

Заключение. Антропогенные воздействия, связанные с частичным изменением гидрологического режима и хозяйственным использованием пойменных земель при умеренных масштабах мелиорации, не оказывают существенного влияния на динамику численности птиц. Если площадь мелиоративных работ увеличится до 50 % общей площади поймы, то сложившаяся экосистема будет раз-

рушаться в условиях самых низких паводков (75 % обеспеченности и ниже) и не сможет восстанавливаться на протяжении 4 лет. Необходимо контролировать масштабы мелиоративных работ и не допускать 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.

Автор выражает глубокую благодарность к.б.н., д.т.н. А.М. Адаму за предоставленные материалы, консультации и участие в экспедициях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адам А.М., Болотнов В.П. Анализ влияния весенних паводков на структуру населения птиц поймы Средней Оби для целей охраны природы. – Томск, 1982. – Деп. ВИНТИ № 1040-82 деп. – 29 с.
2. Адам А.М., Болотнов В.П., Секисова С.Е. Модель динамики населения птиц в пойме Средней Оби // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 2001. – Вып. 24. – С. 211–218.
3. Bolotnov V.P., Sekisova S.E., Adam A.M. Structure the basic model of dynamics the bird population in flood lands of Central Ob for organization of rational management // Environment of Siberia, the Far East, and the Arctic: Selected Paper presented at the Intern.

- Conf. ESFA 2001 / V.V. Zuev, Yu.P. Turov, Editor. – Tomsk: International Research Center of Environmental Physics and Ecology Russian Academy of Science, 2001. – P. 348–361.
4. Вартапетов Д.Г. Птицы таежных междуречий Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1984. – 242 с.
5. Форрестер Д. Мировая динамика. – М.: Наука, 1978. – 167 с.
6. Шепелева Д.Ф. О влиянии половодья на продуктивность лугов поймы // Экология. – 1986. – № 2. – С. 3–8.

Поступила 17.04.2007 г.