

Модель динамики населения птиц для мониторинга пойменных экосистем (на примере средней Оби). Сообщение 1

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
E-mail: adam@green.tsu.ru

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.

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 Оби в первую очередь привлекает птиц. Это связано с отепляющим дей-

ствием вод, перемещаемых рекой с юга на север, и с более продуктивными и разнообразными условиями обитания, чем на плакорной (водораздельной) территории. Долина Оби является своего рода воздушным каналом, по которому перемещается основное количество птиц весной. Особенно благоприятны годы, по показателям водности близкие к среднемноголетним значениям, неблагоприятны – мало- или очень многоводные [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, так как значитель-

Болотнов Владимир Петрович
Адам Александр Мартынович

ная 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-х гг. XX в. разработаны различные крупномасштабные проекты изменения стока Оби в результате сооружения водохранилищ ГЭС (Катунской на Оби, Крапивинской на Томи), переброски части стока на юг, региональные проекты изменения обводнения территории в форме сельскохозяйственных и рыбных мелиораций, реализация которых вызывала локальные изменения условий затопления поймы средней Оби. В это же время сформирована схема взаимодействия населения птиц и водного режима Оби [1–6]. Накопление эмпирических данных в дальнейшем позволило перейти к построению модели динамики населения птиц в среднем течении Оби [3, 4]. Она представлена в виде структурной схемы модели, математического описания (системы уравнений и графиков связи между компонентами экосистемы, построенных по реальным данным) и дополнена результатами моделирования реального объекта, которые позволили улучшить ее структуру.

Модель динамики населения птиц построена на основе принципов системной динамики, предложенной Дж. Форрестером [7]. За основу принято понятие фазовых координат системы, характеризующих состояние системы в данный момент. 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 вели-

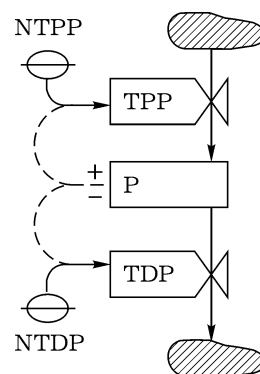


Рис. 1. Основные петли прямой и обратной связи в структуре модели

чину плотности населения птиц, представлены на рис. 1. Верхняя петля определяет 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 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 в пойме реки колеблется от 1000 (ивовые леса) до 47 особей/км² на реке. Максимальная плотность населения птиц отмечена в поселках по берегам реки, которая колеблется от 1,5 тыс. в первой половине лета до 4 тыс. особей/км² во второй половине. Величина показателей сокращается с уменьшением сложностей места обитания, понижением 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 обилие птиц увеличивается в 1,5 раза. В лесных местообитаниях по обилию доминируют 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 Оби и протоках доминирует береговая ласточка. Для поселков свойственно обилие полевого 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, кряква), птицы водоемов – 21 вид (чирок-свистунок, красноголовый нырок, хохлатая чернеть), птицы, связанные с поселками, – 11 видов (деревенская ласточка, домовый и полевой воробьи) [1, 4–6]. 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 “биокomпонент – 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 АФ – антропогенный фактор, которое используется в модели, понимается сумма антропогенного воздействия и изменений окружающей среды (АФ + ОС). Данным обозначением подчеркнута ведущее значение этого фактора в динамике системы, так как антропогенный фактор может изменять природные условия на 50 % и более 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 АФ носит ярко выраженную социальную функцию и определяется экономичес-

кими и социальными законами общества. Анализ организации этого блока на данном этапе не имеет большого значения, так как модель носит прогностический характер по отношению 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 (АФ) на основе эколого-экономических критериев природопользования, которые представлены в работах [8, 9].

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 (АФ). 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 (АФ) – отражает разумную деятельность человека, которая должна приводить к положительному эффекту, следовательно, АФ вызывает рост численности птиц. Доля вмешательства человека в природу, вызывающего отрицательные последствия – браконьерство, разорение гнезд, изменение естественных мест обитания, – приводит к сокращению численности птиц. Подобные явления учтены переменной “хищничество” (Н). Между уровнями (P) и (АФ) 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 (MTUF), который увеличивает темп усиления антропогенного фактора (TUF) или оставляет его неизменным в зависимости от значения плот-

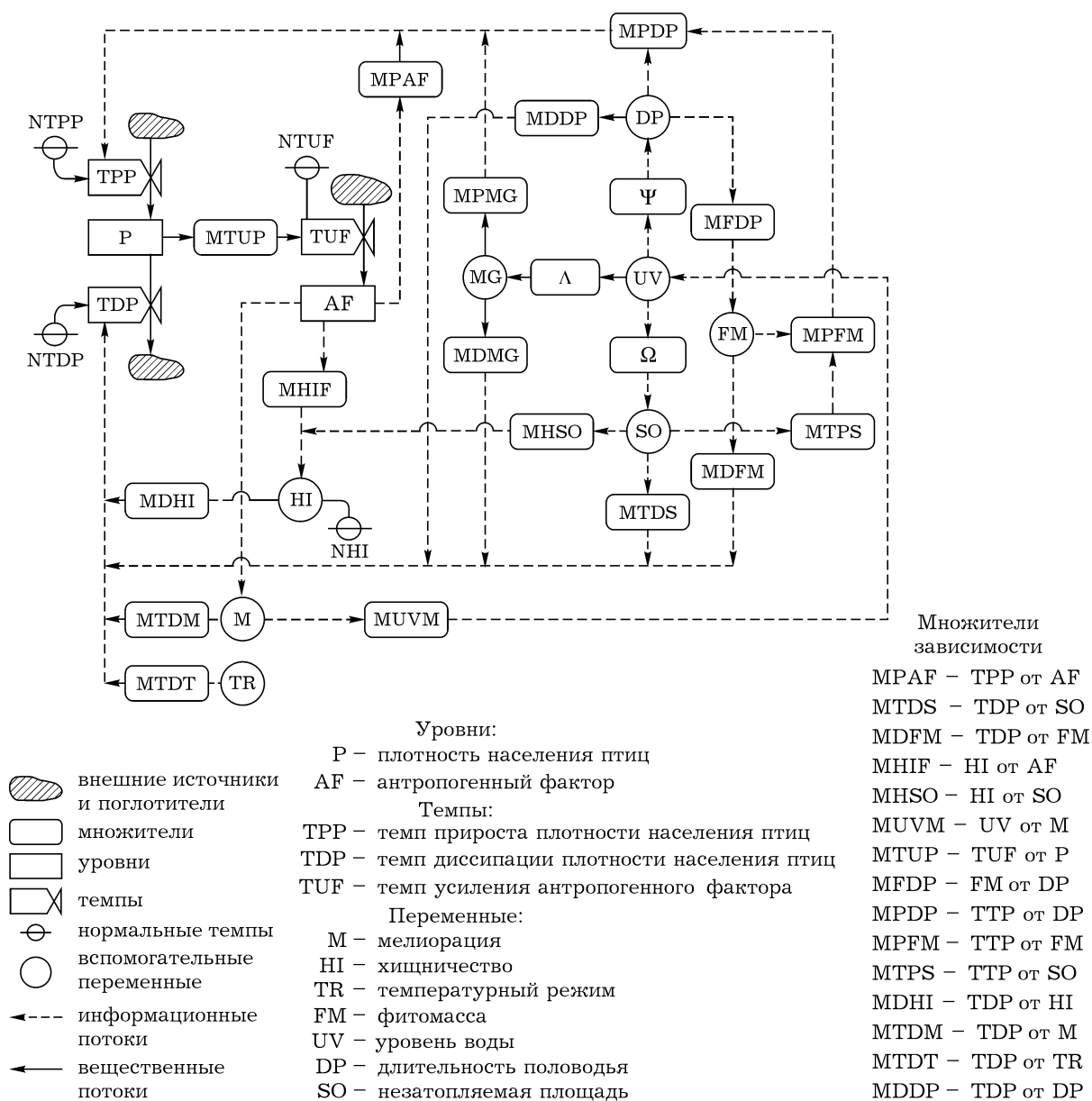


Рис. 2. Структура модели динамики плотности населения птиц в пойме средней Оби

ности. Изменение человеком уровней весенних половодий выражается множителем зависимости уровня от антропогенного фактора (MUF).

На территории Колпашевского района Томской области с 1971–1989 гг. велись мелиоративные работы. Проведенные исследования показали, что влияние мелиорации на численность птиц существенно. Это позволило выделить ее отдельно в виде переменной (M). Влияние мелиорации на темп уменьшения численности птиц описывается множи-

телем 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: уровнем воды (UV), длительностью половодья (DP) и незатопляемой пло-

щадью (SO). Низкие половодья вызывают снижение плотности населения птиц из-за свободного распределения по территории поймы луговых и кустарниковых сообществ, миграции водоплавающих, тогда как 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 наблюдает-

ся приток водоплавающих. При этом увеличивается процент гибели птенцов от хищничества, а перенаселенность 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) (на рис. 3 приведены только некоторые графики зависимостей).

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 темпа

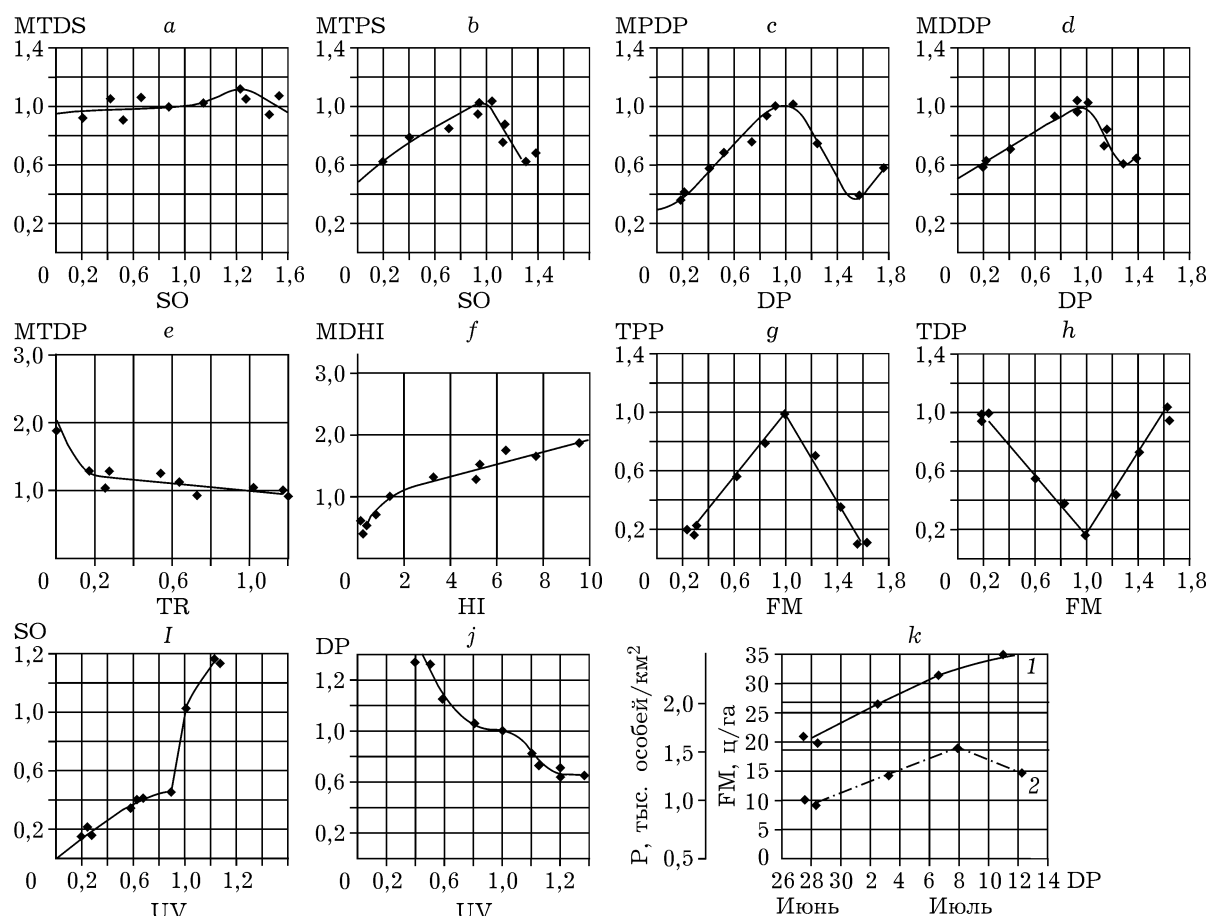


Рис. 3. Эмпирические графики основных множителей модели

прироста и диссипации плотности населения птиц от длительности половодья (MPDP, MDDP) (см. рис. 3, с, d).

Резкое понижение температуры (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. 3, e).

Одним из факторов, лимитирующих численность птиц, является хищничество, которое особенно заметно сказывается в период гнездования. Под хищничеством подразумевается непосредственное 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. 3, f). Хищничество в некоторой степени зависит от свободной от воды площади – SO и, 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 площадь. При чем 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 TPR – через множитель зависимости темпа прироста плотности от фитомассы (MPFM). Известно, что на продуктивность лугов в пойме влияет длительность затопления поймы во время половодий [10]. В модели это выражено через множитель зависимости прироста фитомассы от длительности половодья (MFDP) (рис. 3, ж).

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

Продолжительность и высокое стояние паводковых вод приводят к увеличению численности водоплавающих при общей тенденции снижения плотности населения птиц. Очень низкие половодья уменьшают долю водных и околводных птиц и вызывают миграцию сухоходных 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).

Результаты моделирования будут представлены во второй части статьи.

ЛИТЕРАТУРА

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. в ВИНТИ № 1040–82.
2. Адам А. М., Болотнов В. П., Секисова С. Е. Вопросы географии Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 2001. Вып. 24. С. 211–218.
3. Bolotnov V. P., Sekisova S. E., Adam A. M. Environment of Siberia, the Far East, and the Arctic: Selected Paper presented at the International Conference ESFA 2001, Tomsk, Russia. 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. Сиб. отд-ние, 1984.
5. Равкин Ю. С. Пространственная организация населения птиц лесной зоны (Западная и Средняя Сибирь). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.
6. Юдкин В. А., Равкин Ю. С., Блинов В. Н. и др. Пространственно-временная динамика животного населения (птицы и мелкие млекопитающие). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1987. С. 181–191.
7. Форрестер Д. Мировая динамика. М.: Наука, 1978.
8. Адам А. М., Мамин Р. Г. Природные ресурсы и экологическая безопасность Западной Сибири. М.: ПОЛТЕКС, 2000.
9. Адам А. М., Новоселов А. Л., Ченурных Н. В. Экологические проблемы регионов России. Томская область. М.: ВИНТИ, 2000. 190. Информационный выпуск № 6.
10. Шепелева Д. Ф. // Экология. 1986. № 2. С. 3–8.

Model of the Dynamics of Bird Population for Monitoring of Floodplain Ecosystems (for Middle Ob as Example). Communication 1

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
E-mail: adam@green.tsu.ru*

Model of the dynamics of bird population in the river floodplain was developed for the purpose of organizing monitoring of floodplain ecosystems. The model is based on the principles of system dynamics formulated by D. Forrester. A long-term series of observations (1977-2000) in spring and summer in the floodplain of middle Ob in the Kolpashevo District of the Tomsk Region was used. This allowed to improve the structure of the model. The model was implemented with the help of MATLAB 5.2.1 software 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 middle Ob.

Key words: bird community, floodplain of middle Ob, basic model, simulation, effect of hydrological regime.