



УДК 598.2 (571.5)

Моделирование волн пролёта хищных птиц в Южнобайкальском пролётном коридоре

А. И. Поваринцев¹, Н. В. Абасов², И. В. Фефелов¹

¹ Иркутский государственный университет, Иркутск

² Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, Иркутск

E-mail: povarincev99@mail.ru

Аннотация. Построена математическая модель осеннего перемещения пяти видов соколообразных на участке узкого миграционного коридора – в «бутылочном горлышке» на юге оз. Байкал. Модель учитывает следующие параметры: численность и распределение птиц по основным зонам в зависимости от плотности на момент начала миграции; скорость перемещения перед попаданием в миграционный коридор и внутри него; состояние облачности на территории, откуда происходит подлёт птиц в коридор, и влияние облачности на их скорость; распределение числа птиц, начинающих миграцию, внутри её сроков согласно бинормальному распределению; межвидовые различия в поведении при различных типах облачности и в зависимости от миграционного состояния птиц. Модель подтверждает ведущую роль облачности, показывает необходимость введения дополнительных влияющих параметров – осадков, температуры и ветра. Для видов-парителей модель демонстрирует более высокую скорость перемещения на подлёте к коридору, чем изначально предполагалось, для видов, использующих машущий полёт, за исключением тетеревины, – напротив, меньшую скорость. Более низкие значения эксцесса при моделировании пиков пролёта в сравнении с фактическими пиками позволяют предположить, что часть птиц, не вполне готовых к миграции, во время пролётных пиков вовлекается в движение энергообеспеченными особями.

Ключевые слова: птицы, соколообразные, поведение птиц, Южнобайкальский миграционный коридор, миграционные волны, математическое моделирование.

Введение

Южнобайкальский миграционный коридор хищных птиц – ключевая территория международного значения, через которую пролетает от 8 до 14 тыс. представителей отряда соколообразных за осень и, по меньшей мере, 2 тыс. – за весну [7; 11]. Численность и сроки миграции исследуются здесь с 1980-х гг. путём прямого учёта птиц в «бутылочном горлышке» в южной части коридора [4; 6; 8; 11]. Хорошо изучены оказались видовой состав, сроки и дневная динамика миграции, скорость перемещения птиц внутри коридора (вдоль юго-западного побережья Байкала), принципиальный характер влияния осадков и солнечной погоды на миграцию [2]. Однако остаются невыясненными скорость движения птиц-парителей в Предбайкалье перед их попаданием в коридор, воздействие характера облачности и температуры приземного воздуха на поведение птиц, что, несомненно, влияет на миграцию [12; 13], а также ряд других факторов. В связи с этим нами была предпринята попытка построения

имитационной математической модели миграции, основанной на уже известных параметрах осеннего пролёта. Сравнение результирующих графиков такой модели с фактическими данными учётов позволяет найти взаимосвязь между формированием волн пролёта соколообразных и условиями, сложившимися в момент начала пролёта не только в непосредственной точке наблюдения, но и на всей трассе миграции соколообразных до их попадания в Южнобайкальский пролётный коридор, дать оценку скоростным и временным характеристикам перемещения хищных птиц над обширными равнинными пространствами Восточной Сибири.

Ранее уже предпринималась попытка создания аналоговой модели формирования волн пролёта соколообразных в этом коридоре [10]. Однако указанная модель рассматривала только суточную динамику миграционной волны в районе постоянного наблюдательного пункта (ПНП) без учёта влияния на пролёт метеорологических факторов.

Материалы и методы

В работе использованы данные учётов соколообразных в течение осеннего миграционного периода (25 августа – 17 октября, всего 43 дня наблюдений) 2011 г., полученные на постоянном наблюдательном пункте «Земляничный» в районе пос. Култук в Слюдянском районе Иркутской области. Применялись ранее использовавшиеся на этом участке стандартные методики учёта птиц [11].

Для построения математической модели осенней миграции соколообразных выбраны пять массовых видов мигрантов: канюк (*Buteo buteo*), хохлатый осоед (*Pernis ptilorhyncus*), чёрный коршун (*Milvus migrans*), ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*) и ястреб-перепелятник (*Accipiter nisus*) (численность видов на пролёте осенью 2011 г. составила соответственно 9 937, 1 640, 1 616, 347 и 563 особи). Модель базируется на совокупности индивидуальных графиков перемещения, рассчитанных для каждой особи. На выходе теоретическая (смоделированная) сезонная и суточная динамика числа птиц, которые должны пролететь через пункт учёта, графически сравнивалась с фактическими показателями по результатам наблюдений 2011 г.

Для моделирования нами использовались следующие параметры и допущения, точно или предположительно соответствующие результатам наблюдений или близкие к ним.

С целью создания модели выбран полигон, расположенный севернее Байкала, с площадью 265 тыс. км², меридиональными границами от 103°75' до 109°86' в. д. и северной широтной границей 61°09' с. ш. Принято, что с этой территории птицы движутся на юг, а по достижении берега Байкала – вдоль него по миграционному коридору на юг и запад к крайней юго-западной точке озера (51°75' с. ш., 103°75' в. д.), где и проводится их полный учёт (рис. 1). Общее число птиц принято равным учётным результатам 2011 г. В соответствии с имеющимися общими данными о предмиграционном размещении разных видов для осоеда, коршуна и перепелятника территория полигона была разбита на три зоны (южную, центральную и северную) с разной плотностью птиц; распределение канюка и тетеревиатника считалось равномерным.

Даты начала и завершения пролёта и модальные даты миграции для каждого вида были установлены по литературным данным [4; 5;

11] и собственным наблюдениям. Для канюка и коршуна скорость движения на юг вне миграционного коридора первоначально принята за 6,25 км/ч (на основании ограниченного числа наблюдений вне коридора), а скорость в коридоре вдоль берега Байкала – 25 км/ч (согласно репрезентативным наблюдениям); для осоеда, тетеревиатника и перепелятника на основании данных наблюдений за миграционным поведением этих видов скорость принята за 25 км/ч независимо от их местоположения.

Использованы фактические ежедневные данные по состоянию облачного покрова в инфракрасном диапазоне со спутников NOAA (разрешение около 3,6 км/пикс.) [9]. Полигон был разбит на квадраты 50×50 км, в каждом из которых ежедневно определялся балл облачности в трёх градациях: «1» (сплошная густая облачность с высокой вероятностью осадков, способная полностью блокировать миграцию); «0,5» (менее интенсивная облачность, которая не может полностью блокировать пролёт, но замедляет или приостанавливает его); «0» (слабая облачность или её отсутствие, благоприятные для миграции). На основании данных полевых наблюдений принято, что при балле облачности «0» летят все птицы, при балле «1» все остаются на месте, при балле «0,5» не движутся 50 % канюков и коршунов, 30 % осоедов и тетеревиатников и 20 % перепелятников.

Было принято допущение о различной энергообеспеченности мигрантов. Модель предусматривает, что при балле облачности «0» имеющие достаточные энергетические резервы для миграционного броска птицы (назовем их «сильными») начинают миграцию с 10 ч и заканчивают пролёт в 18 ч. Продолжительность их перемещений ограничена только метеоусловиями. Птицы со средними энергетическими запасами начинают лететь позже – с 11 ч, и заканчивают раньше – в 17 ч. «Слабые» особи еще более сокращают время пролёта (с 12 до 16 ч), так как вынуждены часто кормиться. В посредственных условиях пролёта (балл облачности 0,5) «сильные» птицы также летят с 10 до 18 ч, а «средние» и «слабые» сдвигают время старта на час позже (соответственно, с 12 до 17 и с 13 до 16 ч).

Модель для исследования волн пролёта хищных птиц разработана на основе гибкого инструментария, используемого в ИСЭМ СО РАН для моделирования и прогнозирования природообусловленных факторов энергетики [1].

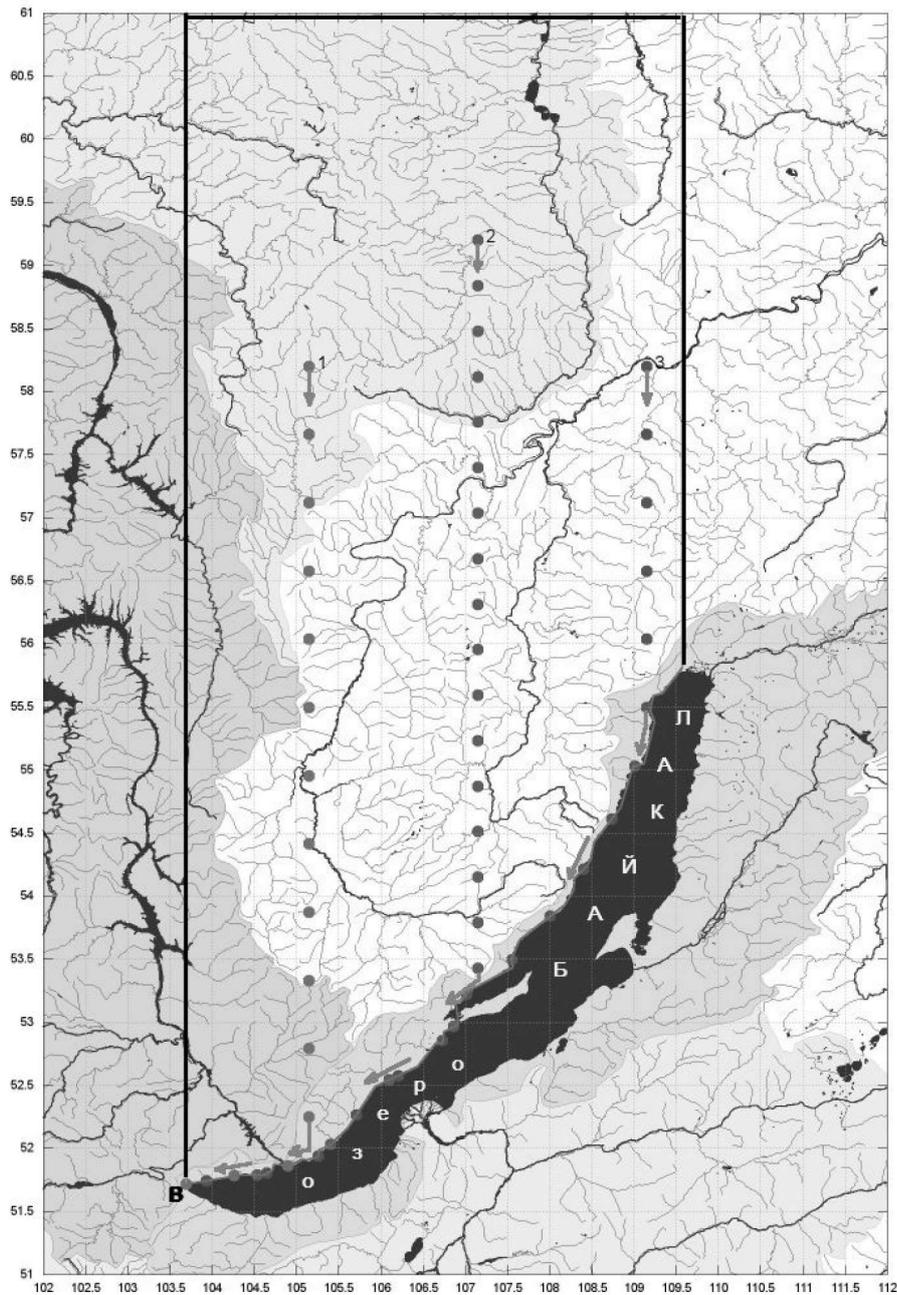


Рис. 1. Карта-схема модельного полигона. В – «бутылочное горлышко», в котором концентрируются мигранты и проводится их учёт. Стрелками показаны предполагаемые направления движения птиц

В первой версии модели использовались бинормальные распределения по датам предполагаемых стартов начала перелёта на юг для трёх категорий птиц: со средней, сильной и слабой энергообеспеченностью.

Моделирование осуществлялось по следующей методике:

1) генерация функции плотности вероятностей начала перелёта по задаваемым датам начала и конца сроков отлёта, дате моды, общему числу птиц, долям особей со слабой и сильной энергообеспеченностью, а также долям их общего количества для трёх зон;

2) равномерное разложение сформированных распределений по всем участкам (50×50 км);

3) отслеживание траекторий перелёта в часовом разрешении с учётом логики обработки метеоусловий (балл облачности) и изменения траектории вдоль западной границы оз. Байкал;

4) модельная регистрация их в пункте наблюдения с сохранением траекторий перелёта для каждой птицы и обработка накопленной статистики для сравнения с фактическими данными через формирование средней и макси-

мальной ошибок, а также расчётов коэффициентов корреляции (Пирсона и Спирмена) для полной и усечённой (без учёта конечных показателей) выборок.

Значения параметров, упомянутых в п. 1, могли изменяться в ходе оптимизации модели. На первом этапе исследования оптимизация производилась путём прямого подбора параметров, изменяемых в определённых пределах, без использования специальных программных средств.

Результаты и обсуждение

В ходе проведённого исследования нами была предпринята попытка воссоздать ход формирования миграционных волн дневных хищных птиц, используя ряд известных и предполагаемых поддающихся количественной оценке параметров. Эксперимент показал, что имитационная модель осенней миграции всех пяти видов соколообразных на начальном этапе достаточно плохо согласуется с фактической картиной пролёта. Достигнутая степень совпадения в датах максимумов, сроках и интенсивности прохождения миграционных волн недостаточна для того, чтобы говорить о корректной работе модели при начальных значениях переменных. Однако, изменяя некоторые из значений, нам удалось приблизить результаты моделирования к фактически наблюдаемым характеристикам осеннего пролёта.

Было установлено, что при начальных характеристиках модели и балле облачности, принятом за «0» (т. е. с допущением, что облачная обстановка и осадки не оказывают влияния на пролёт птиц) график модели чаще всего принимает вид нормального распределения с одним центральным пиком. Это особенно характерно для птиц с высокой численностью на пролёте – канюка, коршуна и осоеда. У тетеревиатника и перепелятника в графике моделируемой миграции выявляются несколько пиков, однако распределение всего пролёта также близко к нормальному. Если в ходе моделирования учитывается влияние фактического ежедневного состояния облачного покрова на миграционное поведение птиц, график модели приобретает вид отдельных волн разной продолжительности и интенсивности, поскольку облачность замедляет или полностью блокирует пролёт на определённых участках исследуемого полигона, определяя число волн.

Отклонения смоделированного графика пролёта от графика реальной миграции отмечены у всех пяти видов. Они выражаются в несовпадении дат с максимальной плотностью пролёта, сроков начала и окончания, интенсивности проходящих миграционных волн. У птиц-парителей (канюка, коршуна) модель при начальных параметрах значительно смещает всю осеннюю миграцию на более поздний срок, в то же время ястребы (тетеревиатник и перепелятник) и осоеды, активнее использующие машущий полёт, согласно результатам моделирования должны пролетать раньше фактических дат.

Изменение различных характеристик модели в допустимых пределах позволило нам наиболее точно определить факторы, оказывающие непосредственное влияние на ход формирования миграционных волн хищных птиц и приблизить параметры моделируемой миграции к фактическому ходу пролёта.

Так, для перепелятника графики при исходных параметрах отражают сходную динамику, однако моделируемый ход пролёта оказывается смещён на более ранний срок (рис. 2, а). Максимальное совпадение сроков прохождения, дат максимумов и интенсивности миграционных волн для перепелятника получено при снижении средней скорости на подлёте к Южнобайкальскому миграционному коридору с 25 до 17 км/ч, а в коридоре – с 25 до до 20 км/ч, а также при снижении долей «слабых» и «сильных» птиц с 20 до 10 % (рис. 2, б).

В этом случае величина корреляции между фактическим и модельным распределением возрастает с $r = 0,479$ до $r = 0,594$.

Опыт работы с первым вариантом модели показал, что включённые в неё параметры воздействуют на формирование миграционных волн в разной степени. Изменение (в разумных пределах) распределения общего числа птиц между выделенными зонами не оказывает существенного влияния на результат моделирования волн пролёта, за исключением модели с участием чёрного коршуна. Средние даты начала и завершения пролёта также хорошо изучены для пункта наблюдений. Они мало различаются между годами и легко поддаются прогнозу для любого участка исследуемой области. Поэтому было решено не вносить дополнительных изменений в эти параметры на следующем этапе моделирования. Однако остаётся открытым вопрос о пространственной неравномерности распределения мигрантов внутри указанных зон во время старта осеннего пролёта.

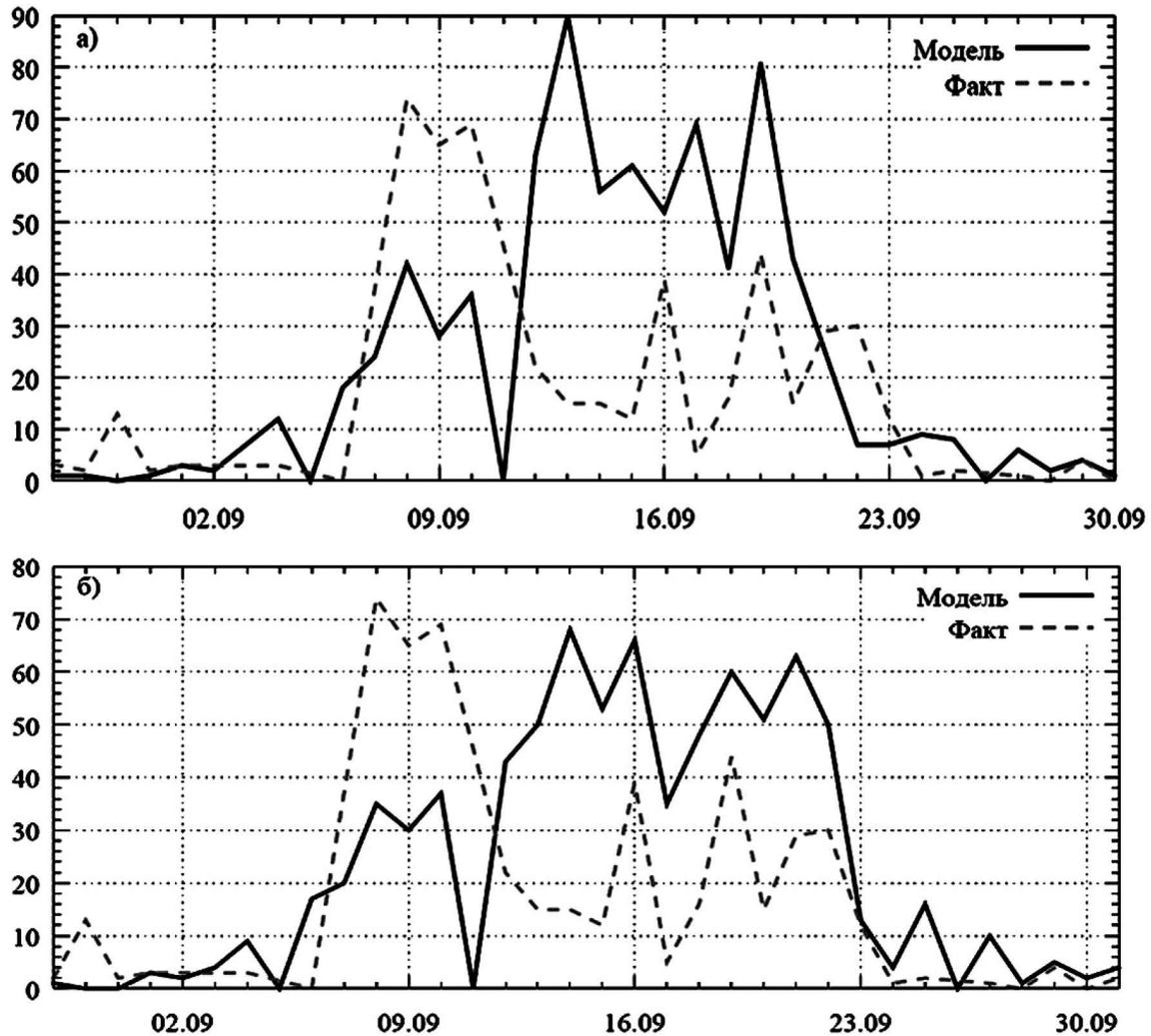


Рис. 2. Сравнение модельного и фактического хода осенней миграции ястреба-перепелятника при первоначальных (а) и изменённых (б) параметрах модели

Модальная дата пролёта каждого вида птиц – более подвижная переменная, на которую может оказывать влияние множество факторов. Её изменение существенно влияет на ход моделируемых волн пролёта, что заметно на примере канюка, коршуна и, возможно, тетеревины. Для большинства видов настройка модели путём смещения модальной даты распределения на более ранний срок от первоначально принятого вполне обоснованна, так как модель учитывает сроки старта и перемещение птиц по всему полигону. Следовательно, максимум численности летящих хищных птиц определяется моделью раньше, чем последние достигнут ПНП (в то же время в исходные параметры были включены модальные даты, рассчитанные для пролёта в районе ПНП).

Моделирование показало, что средняя скорость полёта канюка и коршуна (видов-

парителей) на подлёте к коридору должна быть выше 6,25 км/ч и составлять не менее 10–15 км/ч. Для перепелятника и хохлатого осоеда средняя скорость до входа в коридор определённо ниже, чем предполагалось изначально: 15–17 км/ч, а не 25 км/ч. В то же время тетеревины, по всей вероятности, летит быстрее, его скорость на всех участках трассы миграции близка к 25 км/ч. Непосредственно в коридоре скорость у остальных видов также возрастает до 20–25 км/ч. Вероятно, перемещение в коридоре даёт всем группам мигрантов определённые преимущества, основанные на использовании парения и скольжения в ходе пролёта. Увеличение средней скорости всех видов птиц также может быть связано и со стремлением скорее преодолеть перенасыщенный сородичами участок пути.

Вышеупомянутая оптимизация значений параметров позволяет достичь следующих корреляций между фактическим и модельным распределением: у канюка коэффициент корреляции r возрастает по сравнению с начальными значениями параметров с 0,337 до 0,703; у осоеда – с 0,234 до 0,317; у коршуна – с 0,383 до 0,410; у тетеревятника – с 0,233 до 0,412; у перепелятника, как уже упоминалось, с 0,450 до 0,594. Наивысшие показатели корреляции и наибольшее соответствие между графиками модели и фактического пролёта отмечены для канюка и перепелятника, самый низкий уровень сходства наблюдается для хохлатого осоеда – вида с асимметричным распределением мигрантов в течение сезона и, видимо, гибким миграционным поведением.

Применённая в модели градация облачной обстановки, влияющей на птиц, не всегда достоверно отражает её воздействие на истинный ход пролёта. Фактически балл облачности «1» не обязательно указывает на наличие осадков и других неблагоприятных явлений на каком-либо участке исследуемого полигона, следовательно, миграция может прекращаться не полностью. Например, 11.09.2011 при сплошной низкой облачности в южном секторе полигона продолжалась миграция хохлатого осоеда (за день пролетели 37 особей). Поэтому могут возникать серьёзные отклонения модели от фактического хода пролёта. Тем не менее, полученные результаты подтвердили непосредственное влияние облачности на формирование волн миграции. На следующем этапе работы в модель планируется ввести данные о выпадении осадков в светлое время суток по всей исследуемой области для более точной оценки воздействия облачного покрова на перемещение ястребиных. На формирование миграционной волны должны оказывать влияние и другие метеорологические условия, в частности, ход среднесуточных и максимальных дневных температур. Этот параметр должен быть значимым хотя бы по той причине, что результатом действия высокой температуры приземного слоя воздуха является формирование тёплых восходящих воздушных потоков (термиков), от которых напрямую зависят миграционное поведение и скорость перемещения соколообразных в течение дня. Несомненно, на пролёт влияют также направление и скорость ветра.

Более значительные эксцессы в фактических пиках пролёта при сравнении с моделируемыми позволяют предположить, что на формирование волн миграции могут оказывать

мощное воздействие и другие факторы, не связанные с погодой, как, например, фактор «увлечения». Он проявляется в том, что уже летящие птицы увлекают за собой особей, еще не вполне готовых к дальнему миграционному броску. Этот факт известен у воробьинообразных [3], но применительно к соколообразным данная проблема крайне мало исследована и освещена в литературе.

Заключение

Первый этап моделирования осенней миграции соколообразных в Южнобайкальском пролётном коридоре подтвердил сложность этого явления и слабую изученность ряда его сторон. Имеющиеся у нас сведения касаются только перемещения птиц вдоль побережья Байкала и в районе ПНП «Земляничный», в то же время о процессе формирования миграционной волны за пределами коридора до сих пор практически ничего не известно. Хотя первый вариант модели и не дал достоверной картины миграции ястребиных, однако позволил подтвердить имеющиеся предположения, касающиеся скорости, сроков пролёта и пространственного распределения птиц по исследуемой территории. Было подтверждено неоднозначное влияние на формирование миграционных волн соколообразных такого сложного метеорологического явления, как облачный покров над территорией исследуемого полигона. Выдвинуты гипотезы о влиянии на пролёт других метеорологических факторов, работа с которыми запланирована на следующем этапе исследования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 12-04-31229, публикация статьи осуществлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 13-04-06068-з.

Литература

1. Абасов Н. В. О развитии прогностической системы ГИПСАР на основе Lua-компонентов / Н. В. Абасов // Тр. XVI Байкальской Всерос. конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск, 2011. – Т. 3. – С. 212–217.
2. Алексеенко М. Н. Экологические аспекты осеннего пролёта соколообразных в Южнобайкальском миграционном коридоре : автореф. дис. ... канд. биол. наук / М. Н. Алексеенко. – Улан-Удэ : Бурят. гос. ун-т, 2009. – 23 с.
3. Дольник В. Р. Миграционное состояние птиц / В. Р. Дольник. – М. : Наука, 1975. – 398 с.

4. Красноштанова М. Н. Осенний пролет соколообразных на Южном Байкале в 1995–98, 2000 гг. / М. Н. Красноштанова // Современные проблемы байкаловедения : сб. тр. мол. ученых. – Иркутск, 2001. – С. 110–118.
5. Красноштанова М. Н. Осенняя миграция хохлатого осоеда *Pernis ptilorhyncus* на Южном Байкале / М. Н. Красноштанова, И. В. Фефелов // Рус. орнитол. журн. – 2003. – Т. 12, № 208. – С. 16–19.
6. «Миграционный коридор» на южном Байкале: структура и масштабы осеннего пролета соколообразных / В. В. Рябцев [и др.] : материалы Десятой Всесоюз. орнитол. конф. Витебск, 17–20 сент. 1991 г. – Минск, 1991. – Ч. 2, кн. 2. – С. 190–191.
7. Поваринцев А. И. Особенности весенней миграции соколообразных в Южнобайкальском пролетном коридоре / А. И. Поваринцев // Вестн. ИРГ-СХА. – 2012. – Вып. 48. – С. 120–127.
8. Рябцев В. В. Осенний пролет соколообразных Falconiformes на юго-западном побережье озера Байкал / В. В. Рябцев, Ю. А. Дурнев, И. В. Фефелов // Рус. орнитол. журн. – 2001. – Т. 10, № 130. – С. 63–68.
9. Снимки облачного покрова в инфракрасном диапазоне (10,5–11,5 мкм) на территории Сибири по данным ИСЗФ СО РАН [Электронный ресурс] // Институт солнечно-земной физики СО РАН. – URL: <http://ckm.iszf.irk.ru/html/missions/clouds/index10.php?table>.
10. Фефелов И. В. Графическая модель распределения миграции ястребиных в течение дня в Южнобайкальском пролетном коридоре / И. В. Фефелов // Изучение и охрана хищных птиц Сев. Евразии : материалы V междунар. конф. по хищным птицам Сев. Евразии. – Иваново, 2008. – С. 318–319.
11. Фефелов И. В. Численность и поведение соколообразных во время осенней миграции на Южном Байкале / И. В. Фефелов, М. Н. Алексеенко, В. Ю. Малышева // Вестн. Бурят. гос. ун-та. Сер. 2, Биология. – 2004. – Вып. 5. – С. 61–85.
12. Newton I. The migratory ecology of birds / I. Newton – Oxford : Elsevier, 2008. – 976 p.
13. Visible migration of short-toed snake-eagles: interplay of weather and topographical features / M. Panuccio [et al.] // Journal of Raptor Research. – 2013. – N 47 (1). – P. 60–68.

Modelling of migratory waves for birds of prey in the South Baikal migratory corridor

A. I. Povarintsev¹, N. V. Abasov², I. V. Fefelov¹

¹ Irkutsk State University, Irkutsk

² L. A. Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk

Abstract. A mathematical model of autumn migration of five raptor species in the «bottleneck» at the south of Lake Baikal was constructed. The model includes the next parameters: numbers and spatial distribution of birds in main zones in dependence from the bird density at the moment of migration beginning; flight speed before coming into the migratory corridor and inside it; cloud situation at the territory birds are collected into the corridor from, and affecting of cloud cover to speed of the birds; time distribution of birds starting their migration inside its general time according a bi-normal distribution; interspecific differences in migratory behavior with different types of cloud cover, and in dependence of energetic migratory status of birds. The model supports a leading role of the cloud cover, and shows a need to input additional factors, e.g. atmospheric precipitation, temperature, and wind. For species preferring to soar, the model shows higher flight speed during coming to the migratory corridor than initially presumed, and, controversially, it shows lower speed for the «flapping flight» species but Goshawk. Lower kurtosis in the modeling charts in comparison to factual migratory peaks let to presume birds, which are not yet wholly ready to migrate, are partially involved with birds being energetically ready for into the migration.

Keywords: birds, Falconiformes, bird behavior, South Baikal migratory corridor, migration waves, mathematical modelling.

Поваринцев Александр Игоревич
стажер-исследователь,
Научно-исследовательский институт биологии
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, К. Маркса, 1
тел. (3952) 24–30–77
E-mail: povarintcev99@mail.ru

Povarintsev Aleksandr Igorevich
Trainee Researcher, Research Institute for Biology Irkutsk State University
1 K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3952) 24–30–77
E-mail: povarintcev99@mail.ru

Абасов Николай Викторович
кандидат физико-математических наук, ведущий
научный сотрудник
Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева
СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130
тел. (3952) 50-06-46
E-mail: abasovnv@rambler.ru

Abasov Nikolay Viktorovich
Ph. D. in Physics and Mathematics, Leading
Research Scientist
L. A. Melentiev Energy Systems Institute SB RAS
130 Lermontov st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 50-06-46
E-mail: abasovnv@rambler.ru

Фефелов Игорь Владимирович
доктор биологических наук, зав. лабораторией,
Научно-исследовательский институт биологии
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, К. Маркса, 1
тел. (3952) 24-30-77
E-mail: u000438@ic.isu.ru

Fefelov Igor Vladimirovich
D. Sci. of Biology, Head of Laboratory,
Research Institute for Biology
Irkutsk State University
1 K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3952) 24-30-77
E-mail: u000438@ic.isu.ru