



УДК 591.593.43(569.4)

А.В. Мацюра

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ
ПОГОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА СКОРОСТЬ МИГРАЦИИ БЕЛЫХ АИСТОВ**

*Алтайский государственный университет,
Алтайский государственный педагогический университет, Барнаул, Россия,
E-mail: amatsyura@gmail.com*

В статье выполнен анализ зависимостей между погодными условиями и средней скоростью миграции аистов на маршруте. Средняя суточная скорость миграции рассчитывалась, используя спутниковые телеметрические данные для осенней и весенней миграции белых аистов от их гнездовых в Германии и Польше до мест зимовки в Африке. Доказано, что аисты мигрируют со значительно высокой скоростью осенью (10,6 км/час) по сравнению с весенним периодом (7,4 км/час). Осенью средняя суточная скорость миграции, зафиксированная на территории Европы, была меньше относительно миграционных перемещений птиц на территории ближнего Востока и Африки (8,7, 11,7 и 11,3 км/час соответственно). Весной средняя скорость на маршруте миграции была значительно выше в Африке (10,5 км/час) по отношению к птицам, пролетающим на территории ближнего Востока и Европы (6,3 и 5,5 км/час). На скорость весенней и осенней миграции, прежде всего, влияет попутный ветер на высоте 850мБ и значение географической широты.

Ключевые слова: миграция, погодные условия, аисты, спутниковая телеметрия

A.V. Matsyura

**SATELLITE TELEMETRY RESEARCH OF INFLUENCE OF WEATHER
PARAMETERS ON MIGRATORY SPEED OF WHITE STORKS**

*Altai State University,
Altai State Pedagogical University, Barnaul, Russia
email: amatsyura@gmail.com*

The relation between weather and daily migration speed along the entire migration route of white storks was analysed. Mean daily migration speed was calculated using satellite telemetry data for autumn and spring migration of white storks from their breeding grounds to wintering grounds in Africa and back. White storks migrated significantly faster and had a shorter migration season in autumn (10,7 km/h) compared to spring (7,4 km/h). In autumn mean daily migration speed was significantly slower in Europe (8,7 km/h) than in the Middle East (11,7 km/h) and Africa (11,3 km/h). In spring mean daily migration speed was significantly faster in Africa (10,5 km/h) as birds left their wintering grounds than in the Middle East and Europe (6,3 km/h and 5,5 km/h). In both spring and autumn tailwind (at 850mb) and latitude were found to be significant variables related to daily migration speed.

Key words: migration, weather conditions, White storks, satellite telemetry.

Погодные условия – мощные факторы, влияющие на характер миграции птиц и изменения выбора времени, интенсивности и пространственного распределения птиц. Существует ряд исследований, посвященных определению взаимоотношений между различными погодными компонентами и характеристиками миграции.

Большинство работ рассматривает небольшой набор метеорологических переменных; лишь несколько исследований содержит анализ большого количества погодных характеристик (Zalakevicius, 1995).

Вместе с тем, влияние погоды вдоль всего маршрута миграции, с учетом многообразия региональных особенностей практически не рассматривалось. Главные причины - отсутствие технологий сбора данных о миграционных характеристиках вдоль маршрутов и трудности в сборе детальных сведений на территориях, где полевые исследования проводятся недостаточно или не проводятся вовсе из-за дисперсии населенных территорий или недоступности мест обитания.

Использование спутниковой телеметрии для слежения за птицами предоставляет уникальную информацию о времени, остановках и зимовочных скоплениях некоторых видов птиц. Детальная информация относительно полных маршрутов миграции птиц, которая до использования этой технологии не была доступна, теперь может использоваться, чтобы изучать взаимоотношения между погодой и миграцией птиц широким фронтом.

Кроме того, такие данные могут быть использованы для создания прогностических моделей миграции, основанных на погодных условиях в отдаленных областях.

Спутниковые изучения мигрирующих птиц доказали ежедневные и сезонные изменения скоростей миграции. Используя данные радиотелеметрии о перемещениях белых аистов, гнездящихся в Польше и Германии и мигрирующих в Африку, мы провели исследование и моделирование взаимоотношений между некоторыми метеорологическими переменными, географической широтой и сезонным компонентом на протяжении всего маршрута миграции аистов. Белые аисты, рассматриваемые в нашем исследовании, выбирают так называемый «восточный маршрут миграции», проходящий из Европы через Босфор в Турцию, а затем - через Ближний Восток, пересекая Красное Море в южном Синае и продолжающийся к их местам зимовок в Африке, южнее Сахары.

Применяя непараметрические регрессионные модели в экологических исследованиях, мы получаем мощный, относительно новый инструмент, чтобы проанализировать и объяснить сложные и не обязательно линейные взаимоотношения, изменяющиеся во времени и пространстве. Непараметрические модели могут быть использованы для объяснения сложных отношений между многочисленными факторами и их воздействием



на зависимую переменную (в нашем исследовании - скорость миграции) применяя аддитивные функции сглаживания без определения функционального специфического взаимоотношения по умолчанию.

Ежедневные и сезонные изменения скорости могут быть определены как комбинация воздействия условий окружающей среды и физиологических факторов. Цель нашего исследования - проанализировать отношения между метеорологическими переменными, географической широтой и средней суточной скоростью миграции, а также установить характер изменения подобных отношений в течение всего сезона на полном маршруте миграции белых аистов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для выполнения такого исследования необходимо было выбрать компьютеризированную общепринятую метеорологическую базу данных, которая охватывала бы территорию Европы, Ближнего Востока, северную и центральную часть Африки. Нами были использованы базы данных NASA и NCER, которые предоставляют крупномасштабные многолетние наборы данных, доступные в сети Интернет. Главные преимущества в использовании этих баз данных: данные стандартизированы по отношению к времени и пространству; они исключают или сильно уменьшают необходимость получения данных от местных метеорологических станций; используя атмосферные модели, которые ассимилируют надежные данные дистанционного зондирования, базы данных предоставляют ценную метеорологическую информацию для отдаленных областей, которые редко контролируются наземными станциями; подобные базы данных открыты для общественного использования.

Спутниковая система Argos (Argos, 1996) была использована для слежения за птицами, оснащенными радиотелеметрическими датчиками. Система Argos позволила выполнить оценки местоположения птиц с точностью от 150 до 350 м.

В исследовании использованы данные слежения за аистами за период 2000-2003 гг. Количество и качество радиосигналов, поступающих от спутниковых датчиков, варьировало по отношению к сезонам и отдельным птицам. В силу этого, нами были рассмотрены только данные от датчиков, которые поступали, по меньшей мере, раз в два дня на протяжении половины всего миграционного перемещения (от мест зимовки или гнездования до территории Ближнего Востока)

Данным критериям соответствовали 17 миграционных маршрутов 13 аистов (часть птиц была оснащена датчиками, которые работали более одного сезона). Были проанализированы данные семи весенних и десяти осенних маршрутов. Аисты были оснащены датчиками осенью, поэтому из-за

долговечности батарей, достоверных данных за осеннюю миграцию больше, чем за весеннюю.

Для картирования миграционных перемещений использовалась программа ArcView (ESRI). За начало миграции принимался момент однонаправленного движения птиц от мест гнездования осенью и с мест зимовки весной. Миграция считалась законченной, когда ярко выраженное направленное движение прекращалось, и птицы начинали местные перемещения – поиск мест гнездования или зимовок.

В большинстве случаев удавалось точно установить, что птицы не мигрировали в одной стае, таким образом, данные были интерпретированы как независимые. Пройденный путь определялся как круговое расстояние между точками. Для снижения вариативности скорости из-за разного времени дня или ночи, а также когда между двумя последовательными сигналами проходило несколько часов, нами была рассчитана средняя суточная скорость.

Точки получения сигналов были сгруппированы так, что между первым и последним сигналом в группе проходило около 24 часов. Расстояние между крайними точками таких групп суммировалось и рассчитывалось значение средней суточной скорости как отношение накопленного расстояния к накопленному времени. Этот параметр анализировался нами по отношению к географической широте, календарному дню и метеорологическим условиям. Суточная скорость, таким образом, это средняя скорость дневных и ночных перемещений птиц.

Данные NCEP были использованы для получения необходимых метеорологических параметров. Вся информация размещена на сервере центра диагностики климата в Колорадо, США (www.cdc.noaa.gov/cdc/data.nmc.reanalysis.html). Данные продуцировались каждые шесть часов (00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UTC) с разрешающей способностью 2.5° широты x 2.5° долготы глобальной координатной сети.

Программа GrADS (<http://grads.iges.org>) применялась для извлечения погодных переменных из архива NCEP на основании географической близости к месту отправки сигнала. Скорость ветра использовалась для расчета попутного/встречного и бокового ветрового компонента. Первая и последняя запись в суточной базе данных использовалась для вычисления направления миграции с наложением ветрового компонента. Попутный ветер представлен положительными значениями, встречный – отрицательными. Боковой ветер определялся как перпендикулярный направлению миграции, положительные значения соответствовали левосторонним ветрам, отрицательные – правосторонним ветрам по отношению к направлению пролета.

Основные метеорологические параметры, использованные в исследовании – температура воздуха, относительная влажность, скорость и направление ветра, специфическая влажность, скорость восходящего потока (параметры для



призмного слоя воздуха и высоты 850мБ). Статистический анализ данных выполнялся отдельно для весеннего и осеннего периодов. Нами был использован следующий алгоритм анализа:

1. Для определения значимых переменных, определяющих скорость миграции и характера связей между ними, был применен метод автоматического поиска функции, где зависимая переменная – скорость миграции, а в качестве независимых переменных выступали 12 метеопараметров, календарный день и географическая широта.

2. Метод условной альтернативной оценки (alternating conditional estimation, Breiman and Friedman, 1985), являющимся одним из лучших для нелинейной трансформации зависимой и независимых переменных также применялся нами на начальном этапе. В дополнение к этому, учитывая большое количество переменных, стандартный алгоритм был замещен сочетанием методов предельного интегрирования и линейной регрессии. Главными достоинствами такого метода являются точность, небольшое затраченное время, удобство графической презентации результатов.

3. Генеральная аддитивная модель (GAM) была применена нами для оценки связи между исследуемыми параметрами. Данная модель позволила выполнить сглаживание по методу Lowess, чтобы адекватно оценить степень взаимосвязей между переменными.

4. Генеральная линейная модель применялась для оценки взаимосвязей между значениями скорости ветра и скорости миграции птиц по сезонам и регионам. Когда линейная зависимость была статистически незначима ($P > 0.05$), использовалось сглаживание по методу Lowess.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средняя продолжительность осенней миграции аистов на период изучения составила $25,2 \pm 4,28$ дней (приблизительно $23,8 \pm 3,15$ дней без количества времени, затраченного на остановки в пути). Средняя суточная скорость составила $10,57 \pm 3,55$ км/час ($n = 137$ дней). Весной средняя продолжительность была $47,3 \pm 12,27$ дней ($34,8 \pm 7,41$ без остановок в пути). Средняя скорость составила $7,43 \pm 6,22$ км/час ($n = 238$).

Таблица 1. Средняя суточная скорость миграции белых аистов (в км/час) и стандартное отклонение по регионам и сезонам.

		Европа	Ближний Восток	Африка
Осень	Среднее	8,7	11,7	11,3
	SD	4,18	4,25	5,19
	n	50	48	39
Весна	Среднее	5,5	6,3	10,5
	SD	3,15	4,33	4,92
	n	43	131	64

SD - стандартное отклонение, n – количество дней наблюдения.

Осенью аисты мигрировали с меньшей скоростью, удаляясь от гнездовых участков, постепенно увеличивая скорость по мере прохождения Ближнего Востока и прилета к местам зимовок в Африке. Средняя суточная скорость миграции составила над территорией Ближнего Востока – 11,7 км/час, Африки – 11,3 км/час, над территорией Европы скорость была 8,7 км/час.

Достоверная модель влияния метеопараметров на скорость миграции осенью включала такие факторы: географическая широта, среднее значение попутного ветра, температура воздуха и специфическая влажность на высоте 850мБ ($r^2 = 0,362$; $p < 0.001$, генеральная аддитивная модель) в порядке возрастания значимости.

В Европе географическая широта, средняя скорость попутного ветра на высоте 10м и температура воздуха на высоте 850мБ были определены нами как статистически значимые переменные, влияющие на скорость миграции аистов. Все переменные связаны позитивно со скоростью мигрирующих птиц (позитивная связь, $r^2 = 0,292$; $p < 0.001$, генеральная аддитивная модель).

Для территории Ближнего Востока статистически значимыми факторами были определены средняя скорость попутного ветра, значение календарного дня, температура и специфическая влажность на высоте 850мБ ($r^2 = 0,14$; $P < 0.001$, генеральная аддитивная модель).

Скорость миграции птиц над территорией Африки определялась следующими параметрами – скоростью попутного ветра на высоте 850мБ и значением географической широты ($r^2 = 0.54$; $P < 0.001$, генеральная аддитивная модель).

Весной скорость миграции характеризовалась существенными региональными различиями (табл. 1). Аисты мигрировали быстрее над территорией Африки (10,5 км/час) в начале миграционного сезона и постепенно снижали темпы над территорией Ближнего Востока (6,3 км/час) и Европы (5,5 км/час).

Статистически значимыми факторами, влияющими на скорость мигрирующих птиц, определены значение географической широты, скорость приземного ветра и значения специфической влажности на высоте 850мБ ($r^2 = 0,32$; $P < 0,001$, генеральная аддитивная модель). Скорость миграции снижалась под влиянием встречного ветра, имеющим значения более 1 м/сек (3,6 км/час). Увеличение специфической влажности способствовало увеличению скорости полетов птиц.

Средняя суточная скорость миграции белых аистов была значительно выше во время осенней миграции (южное направление), чем во время весенней миграции, когда птицы возвращаются к своим гнездовьям (10,6 км/час против 7,4 км/час соответственно).



Продолжительность миграции также была больше весной, по сравнению с осенью; средняя продолжительность миграции с остановками в пути весной – 47 дней, осенью – 25 дней. Средняя суточная скорость миграции характеризуется сезонными различиями на маршруте как во время осеннего, так и во время весеннего периода. Скорость попутного ветра на высоте 850мБ имеет существенное значение для суточной скорости миграции птиц между сезонами и в пределах каждого сезона.

Местоположение птиц (широта) также является одной из значимых переменных, связанных с изменениями суточной скорости миграции. Осенью белые аисты увеличивают свою среднюю суточную скорость миграции, по мере удаления с Европы, миграция проходит с более высокой скоростью на территории Ближнего Востока и Африки.

Весной отмечено уменьшение средней суточной скорости к северу от широты 30°, аисты мигрируют значительно медленнее на территории Ближнего Востока, постепенно увеличивая скорость по мере приближения к Европе, к местам гнездования. Средняя суточная скорость характеризуется сезонными отличиями, это касается и взаимоотношения с попутным ветром.

Региональные и сезонные отличия средней суточной скорости миграции могут быть объяснены тремя главными факторами: физическим состоянием птиц, влияние попутного ветра и тепловой конвекции.

Осенью птицы оставляют гнездовые участки, они должны много питаться для того, чтобы сделать далекий путь к их зимовкам в Африке. Питательные ресурсы в Европе достаточно хорошие. Осенью, когда птицы достигают Ближнего Востока и Северной Африки, продовольственные и водные ресурсы недостаточны и миграция проходит со значительным увеличением скорости.

Весной белые аисты мигрируют быстро, оставляя Африку, постепенно уменьшая скорость миграции, когда достигают территории Ближнего Востока. После пересечения Сахары, из-за дефицита пищевых ресурсов птицы испытывают потребность отдохнуть и пополнить энергетические запасы на первых пригодных для этого участках. Вследствие зимнего сезона дождей, территория Ближнего Востока характеризуется большим количеством пищевых ресурсов весной, по сравнению с осенним периодом.

Задержка прилета птиц к местам гнездования с целью пополнения энергетических запасов после оставления Африки, вероятно, связана с уменьшенным содержанием пищевых ресурсов территории зимовок в результате климатических изменений, опустынивания и нашествия саранчи.

Влияние ветра частично объясняет феномен сезонных отличий в средней скорости миграции. Во время нашего исследования, во всех областях преобладающие ветры весной были менее интенсивны, чем осенью. Однако в Африке не было никакой существенной разницы между средней скоростью миграции между сезонами. Белые аисты, вероятно, воспользовались

превосходными конвективными условиями в Африке на протяжении обоих сезонов, что подтверждается более высокими значениями скорости. Преобладающие встречные ветры весной и отсутствие пригодных мест остановки в Африке, вынуждают аистов приземлиться и пополнить ресурсы, как только они достигают Ближнего Востока.

После пополнения энергетических запасов, аисты увеличивают скорость на территории Европы, хотя она меньше весной, чем осенью, когда попутные ветры значительно сильнее. Средняя скорость миграции аистов в Израиле была выше осенью, чем весной, из-за разницы в преобладающих попутных ветрах.

Весной на территории Ближнего Востока и Европы боковые ветры оказывают существенный эффект на скорость миграции, предпочтительными являются левосторонние по отношению к генеральному направлению перелетов. На территории Ближнего Востока левосторонние (западные или юго-западные ветры) предпочтительнее, чем восточные или северо-восточные, которые, возможно, заставляют аистов, летящих подветренно, дрейфовать над Средиземным морем - главным экологическим барьером по пути следования. В Европе, ветры с левой стороны оси миграции (юго-западные) сопровождаются теплым влажным воздухом, в отличие от холодного сухого воздуха, который приходит с северо-востока.

Таким образом, пик миграции в северном направлении соответствует дням с теплыми южными ветрами, увеличивающейся влажности и температуры и уменьшению давления, с максимумом в восточном направлении и минимумом в западном. Боковые ветры имеют более существенное влияние на скорость миграции весной, чем осенью, из-за преобладающих встречных ветров.

Тепловая конвекция - третий фактор, который имеет важное значение для региональных отличий средних скоростей миграции, что объясняет более быструю миграцию в южных широтах. На больших высотах условия для парящей миграции более подходящие на территории Африки. Здесь миграция аистов проходит не только на более высоких маршрутах, но и с большей маршрутной скоростью, чем на территории Ближнего Востока ($41,3 \pm 1,7$ км/час против $36,7 \pm 7,2$ км/час соответственно). Отличия в высотах и скоростях между миграцией в Африке и Европе, вероятно, были бы еще больше. К сожалению, тепловая конвекция не может быть непосредственно измерена на таких больших территориях, и, хотя тепловая конвекция может быть смоделирована, эти модели должны быть откалиброваны по отношению условиям местной топографии.

Выводы

Подытоживая вышесказанное, отличия в суточной скорости миграции аистов связаны с особенностями воздействия ветра, местоположением и сезоном. Сезонные и региональные отличия в скорости миграции обусловлены комбинацией отличий в физическом состоянии птиц, кормовой стратегии,



преобладающих ветрах, температуры и влажности. Непараметрические модели оказались наиболее подходящими для определения наиболее значимых факторов скорости миграции и устранения несущественных переменных. В результате получены упрощенные модели скорости миграции, базирующиеся на значениях скорости ветра и географической широты.

На скорость миграции белых аистов воздействуют несколько метеорологических переменных, которые изменяются сезонно и регионально. Миграционное поведение белых аистов характеризуется определенными адаптациями к погодным условиям, изменяющимся во времени и пространстве. Попутный ветер у поверхности земли и на высоте 850мБ имеет существенное влияние на скорости миграции.

REFERENCES

- Allen, P.E., Goodrich, L.J., Bildstein, K.L. (1996). Within- and among-year effects of cold fronts on migrating raptors at Hawk Mountain, Pennsylvania, 1934-1991. Auk. 113, 329-338.
- Breiman, L., Friedman, J.N. (1985). Estimating optimal transformations for multiple regression and correlation (with discussion). J. Amer. Stat. Ass. 80, 580-619.
- Butler, R.W., Williams, T.D., Warnock, N., Bishop, M.A. (1997). Wind assistance: a requirement for migration of shorebirds? Auk. 114, 456-466.
- Cleveland, W. S. (1979). Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. J. Amer. Stat. Ass. 74, 829– 836.
- Erni, B., Liechti, F., Underhil, L.G., Bruderer, B. (2002). Wind and rain govern the intensity of nocturnal bird migration in central Europe – a log-linear regression analysis. Ardea. 90, 155-166.

- Liechti, F., Bruderer, B. (1998). The relevance of wind for optimal migration theory. *J. Avian Biol.* 29, 561-568.
- Liechti, F., Ehrlich D., Bruderer B. (1996). Flight Behavior of White Storks on their migration over southern Israel. *Ardea.* 84, 3-11.
- Linton, O.B., Nielsen, J.P. (1995). A kernel method of estimating structured nonparametric regression based on marginal integration. *Biometrika.* 82, 93-100.
- Pennycuik, C.J. (1998). Field observations of thermals and thermal streets, and the theory of cross-country soaring flight. *Journal of Avian Biology.* 29, 33-43.
- Richardson, W.J. (1990). Timing of bird migration in relation to weather: updated review. In: *Bird Migration*. E. Gwinner (Ed.). - Springer-Verlag Berlin.
- Shannon, H., Young, G., Yates, M., Fuller, M., Seegar, W. (2002). American White pelican soaring flight and altitudes relative to changes in thermal depth and intensity. *Condor.* 104, 679-683.
- Spaar, R. (1997). Flight strategies of migrating raptors; a comparative study of interspecific variation in flight characteristics. *Ibis.* 139, 523-535.
- Spaar, R., Liechti, F., Bruderer, B. (2000). Forecasting flight altitudes and soaring performance of migrating raptors by the altitudinal profile of atmospheric conditions. *Tech. Soaring.* 24, 49-55.



Yates, R.E., McClelland, B.R., McClelland, P.T., Key, C.H., Bennetts, R.E. (2001). The influence of weather on golden eagle migration in northwestern Montana. J. Raptor Res. 35, 81-90.

Zalakevicius, M., Svazas, S., Stanevicius, V., Vaitkus, G. (1995). Bird Migration and Wintering in Lithuania. Volume 2: a monograph. Acta Zool. Lituanica, 58-71.

Поступила в редакцию 11.05.2015

Как цитировать:

Мацюра, А.В. (2015). Результаты радиотелеметрического исследования влияния погодных параметров на скорость миграции белых аистов. *Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого*, 5 (2), 64-74.

crossref <http://dx.doi.org/10.7905/bbmsspu.v5i1.976>

© *Мацюра*, 2015

Users are permitted to copy, use, distribute, transmit, and display the work publicly and to make and distribute derivative works, in any digital medium for any responsible purpose, subject to proper attribution of authorship.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 3.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/)