

УДК 598.28/29

СОВРЕМЕННАЯ ТЕЛЕМЕТРИЯ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ОРНИТОЛОГИИ

© 2011 г. Л. В. Соколов

Зоологический институт РАН, С.-Петербург 199034, Россия

e-mail: leonid-sokolov@mail.ru

Поступила в редакцию 15.12.2010 г.

Рассматриваются современные методы телеметрии птиц и результаты исследований, полученные при помощи этих методов. Появление высокотехнологических способов слежения за перемещениями птиц существенно расширяет, а в ряде случаев кардинально меняет наши представления об их жизнедеятельности. После создания радиопередатчиков для птиц (от простых локального действия до долговременно работающих спутниковых) открываются новые возможности для их исследования.

Ключевые слова: телеметрия, орнитология, перемещения птиц.

Появление новых методов слежения за перемещениями птиц существенно расширяет, а в ряде случаев кардинально меняет наши представления о разных сторонах их жизнедеятельности. Индивидуальное мечение птиц началось еще в средние века, когда на пойманных цапель надевали пластинки или кольца и выпускали их на волю (Штейнбахер, 1956). В 1890 г. преподаватель гимназии датчанин Х.К. Мортенсен начал метить скворцов цинковыми пластинками, а в 1899 г. перешел к мечению птиц при помощи ножных колец из легкого металла с выбитыми на них порядковыми номерами и адресом исследователя. Тремя годами позже немецкий профессор И. Тинеманн определил кольцевание птиц как одну из важнейших задач созданной в 1901 г. орнитологической станции Росситтен на Куршской косе Балтийского моря. Кольцевание стало главным методом изучения перемещений птиц. Более чем за сто лет кольцевания птиц в разных странах мира был накоплен колоссальный банк данных по повторным поимкам меченых птиц, которым будет пользоваться не одно поколение исследователей. Однако метод индивидуального мечения птиц имеет недостатки и ограничения, связанные с тем, что, во-первых, он требует массового кольцевания, чтобы получить необходимое для анализа число повторных поимок, а во-вторых, не дает возможности проследить маршрут перемещения птицы. Возникла необходимость создания новых методов слежения за перемещениями животных.

Такие методы стали появляться в начале 60-х гг. прошлого века после того, как были созданы радиопередатчики. Первоначально это были достаточно громоздкие ультракоротковолновые (УКВ) устройства, которые крепились только на круп-

ных птицах. Для их применения требовались специальные источники питания, антенны и приемники. В настоящее время помимо миниатюрных передатчиков ограниченного действия весом менее 1 г появились небольшие спутниковые передатчики от 20 до 5 г, позволяющие следить не только за локальными перемещениями птиц, но и за их сверхдальними миграциями на протяжении нескольких лет.

После применения телеметрии за перемещениями диких животных она стала использоваться для изучения их локальных перемещений, дисперсии, определения размеров индивидуальных участков (home range) и выяснения мест обитания. С появлением спутниковых передатчиков стали активно изучать маршруты, скорость и высоту миграции птиц. Позже с помощью телеметрии начали исследовать социальное поведение, внутривидовые и межвидовые отношения, использовать ее методы для оценки смертности и численности разных видов животных (White, Garrott, 1990; Benvenuti, 1993; Beekman et al., 1996; Seegar et al., 1996; Guan, Higuchi, 2000; Kenward, 2001; Fuller et al., 2005; Olival, Higuchi, 2006; Meyburg, Fuller, 2007; Whitworth et al., 2007; Hart, Nyrenbach, 2009). Сейчас этот метод получает все более широкое распространение не только среди специалистов, изучающих позвоночных животных, но и беспозвоночных, включая насекомых.

Орнитологические задачи, решаемые при помощи телеметрии

В настоящее время передатчики применяются при изучении следующих аспектов биологии птиц:

1) путей и направлений миграции (Higuchi et al., 1991, 2006; Meyburg et al., 1995, 2002, 2006; Johnson et al., 1997; Fuller et al., 1998; Guan, Higuchi, 2000; Kanai et al., 2000; Berthold et al., 2001, 2004; Hake et al., 2001, 2003; Green et al., 2002; Fox et al., 2003; Haines et al., 2003; Kaatz, 2004; Gill et al., 2005; Judas et al., 2006; Trierweiler et al., 2007; Gschwend et al., 2008; Pütz et al., 2008; Stutchbury et al., 2009; Lo'pez—Lo'pez et al., 2009, 2010; Bächler et al., 2010; Egevang et al., 2010 и др.);

2) скорости и высоты миграции (Bögel, Burchard, 1992; Javed et al., 2000; Hake et al., 2001, 2003; Kjelle'n et al., 2001; Miller et al., 2005; Meyburg et al., 2002, 2006; Soutullo et al., 2006; Strandberg et al., 2009; Hedenström, 2010);

3) продолжительности миграционных полетов и остановок (Aborn, Moore, 1997; James et al., 2000; Harris et al., 2000; Kanai et al., 2002; Shimazaki et al., 2004; Fransson et al., 2008; Galarza, Dennis, 2009; Strandberg et al., 2009; Чернецов, 2010);

4) времени старта ночной миграции и дисперсии (Cochran et al., 1967; Åkesson et al., 1996, 2001; Moore, Aborn, 1996; Bolshakov, Chernetsov, 2004; Bolshakov et al., 2007; Mukhin et al., 2009);

5) физиологического и энергетического состояния (Sawby, Gessamen, 1974; Bögel, Burchard, 1992; Weimerskirch et al., 1995; Pennycuik, 1996; Clausen et al., 2003; Pennycuik, Battley, 2003; Bowlin et al., 2005; Gill et al., 2005; Tsvey et al., 2007; Hedenström, 2010; Косарев, Кобылков, 2010; Stutchbery et al., 2011);

6) ориентации и навигации (Gudmundsson et al., 1995; Mouritsen et al., 2003; Chernetsov et al., 2004, 2005; Cochran et al., 2004; Thorup et al., 2007; Wikelski et al., 2007);

7) хоминга и филопатрии (Southern, 1970; Kosarev, Sokolov 2007; Mukhin et al., 2009; García-Ripolle's et al., 2010; Oppel, Powell, 2010);

8) гнездовой и послегнездовой дисперсии (Bahat, 1992; Griesinger et al., 1992; Meyburg, Lobkov, 1994; Walls, Kenward, 1994; Hyrenbach, Dotson, 2001; Rafanomezantsoa, 2002; McGrady et al., 2003; Mukhin et al., 2005; Glahder et al., 2006; Soutullo et al., 2006; Weimerskirch et al., 2006; Anker-Nilssen, Aarvak, 2009; Pearce, Petersen, 2009; Cadahía et al., 2008);

9) размера индивидуального участка (Naef-Paenzer, 1993; Kralovec, 1994; Jiguet, Villarubias, 2004; Judas et al., 2006; Meyburg et al., 2006);

10) сроков сезонных явлений (Martell et al., 2001; Fox et al., 2003; Meyburg et al., 2005; Battley, 2006; Glahder et al., 2006; Kosarev, Sokolov, 2007a);

11) территориального и социального поведения (Walls, Kenward, 1994; Tyack et al., 1998; Pütz et al., 2007; Driscoll, Ueta, 2002; Javed et al., 2006; Therrien et al., 2008);

12) территориального и биотопического распределения (Jouventin, Weimerskirch, 1990; Weimerskirch, 1990; Ancel et al., 1992; Grubb et al., 1994; Kanai et al., 1994; Falk, Møller, 1995; Davis et al., 1996; Berthold et al., 2001; Higuchi et al., 2000; Berthold et al., 2001; Tamura et al., 2001; Kenow et al., 2002; Ueta et al., 2002; Aarvak, Øien, 2003; Haines et al., 2003; Morimoto et al., 2005; Therrien et al., 2008; Glahder et al., 2006; Meyburg et al., 2006; Mosbech et al., 2006; Peterson et al., 2006; Kitirov et al., 2010);

13) демографии (Snyder et al., 1989; Bunck et al., 1995; Esler et al., 2000; Cadahía et al., 2005; Murray, 2006; Strandberg et al., 2010; Oppel, Powell, 2010);

14) экологии вида (Weimerskirch et al., 1993; Hamer et al., 2000; Therrien et al., 2008; Glahder et al., 2006; Mosbech et al., 2006);

15) сохранения, акклиматизации и реинтродукции вида (Higuchi et al., 2004; Galarza, Dennis, 2009);

16) переноса птицами патогенных вирусов (Whitworth et al., 2007; Prosser et al., 2009; Gaidet et al., 2010);

17) местонахождения и перераспределения охотничьих видов и др.

Радиопередатчики, прикрепленные к птицам, в частности к пингвинам и другим морским птицам, можно использовать для сбора гидрологической и аэродинамической информации, включая температуру и прозрачность воды на разных глубинах, температуру и скорость воздушных потоков и т.д. (Bögel, Burchard, 1992; Wilson et al., 1994).

Поскольку методы телеметрии достаточно трудоемки и дороги по сравнению с простым кольцеванием, исследователь должен четко определить задачи и план своей работы. Необходимо определить: 1) размер и тип радиопередатчика, 2) наиболее удобный и безопасный способ его крепления на птицу, 3) оптимальные способы слежения за перемещениями птиц, 4) возможности повторной поимки и замены или снятия передатчика, 5) методы обработки и анализа данных радиопрослеживания.

По вопросам планирования и проведения радиотелеметрических исследований опубликовано много работ, которые можно использовать при разработке своего проекта (Kenward, 2001; Coyne, Godley, 2005; Fuller et al., 2005 и др.). Отлов, обработка и мечение диких птиц радиопередатчиками строго регламентируется в большинстве стран, включая Россию. Поэтому для таких работ необходимо получить разрешительные документы и лицензии.

Ультракотковолновые радиопередатчики (УКВ). Первые передатчики, которые стали использовать для птиц, были простыми и громоздкими ультракотковолновыми устройствами, которые

Таблица 1. Характеристики современных передатчиков, применяемых при исследовании птиц

Показатель	Передатчик			
	локальный УКВ	спутниковый		геолокатор (логгер)
		ППТ	GPS	
Вес передатчика, г	0.2–12	5–18	20–60	0.4–12
Продолжительность работы	От 5 дней—до нескольких месяцев	От нескольких месяцев—до нескольких лет	От нескольких месяцев—до нескольких лет	От нескольких месяцев—до нескольких лет
Расстояние приема сигнала, км	0.1–100	Неограниченное	Неограниченное	—
Точность определения координат	5–500 м	100–200 м	10–20 м	50–100 км
Интервал слежения	Постоянное слежение	4 ч	Постоянное слежение	Постоянное слежение
Тип слежения	Антенное	Спутниковое	Спутниковое	Запись
Источник питания	Аккумулятор	Аккумулятор, солнечная энергия	Аккумулятор, солнечная энергия	Аккумулятор
Стоимость, доллар	100–300	2000–3000	2500–3500	100–200

крепилась на спину птице. Для их применения нужны источник питания, приемник, антенны и крепежные материалы. В настоящее время выпускаются разные передатчики — от относительно больших, работающих по несколько месяцев, до миниатюрных устройств весом 0.2 г, действующих всего 5 суток.

Важные характеристики УКВ-передатчиков — вес, мощность (дальность) трансляции и срок жизни аккумуляторов (табл. 1). Чем выше мощность передатчика, тем меньше ресурс батарей, и наоборот (Whitworth et al., 2007). Выбор мощности зависит от задач исследования. Дальность передачи сигнала определяет условия локализации передатчика. Если предполагается передвижение птиц по обширной территории, необходимо увеличивать радиус передачи сигнала (за счет снижения ресурса батарей). И наоборот, при нахождении птицы в пределах относительно ограниченной зоны понадобится меньше усилий на поиск сигнала, и его мощность можно снизить, чтобы продлить срок работы передатчика. Поскольку основные характеристики передатчика зависят от его размеров, пространственный охват и продолжительность телеметрических исследований с помощью этих устройств при исследовании более мелких видов ограничены по сравнению с изучением более крупных птиц. Организация исследований с использованием УКВ-телеметрии более трудоемка по сравнению со спутниковым слежением, т.к. требует выполнения большого объема ручной технической работы и большего числа исследователей. Это повышает важность таких характеристик УКВ-передатчика, как мощность (дальность) трансляции и срок жизни батарей.

Радиотелеметрические исследования в УВЧ-диапазоне требуют значительных поисковых работ, направленных на выявление и определение координат местоположения птиц, помеченных передатчиком. Для телеметрического слежения необходим УКВ-приемник, соединенный с приемной антенной специальным кабелем для поиска сигналов, излучаемых радиопередатчиками. Наиболее современные приемники позволяют пользователю запрограммировать желаемые частоты, сканировать эфир на предмет сигналов через установленные интервалы времени и завершать сканирование при обнаружении сигнала. При наземных наблюдениях пешком, на велосипеде или машине для точной локализации сигналов используется метод, называемый триангуляцией. При сканировании с фиксированного места с известными координатами сигнал выявляется направленной антенной, а затем записывается азимут направления с самым сильным сигналом. Такая же процедура повторяется вскоре в другом месте поблизости. Если нанести азимуты, замеренные на фиксированных пунктах прослушивания, на карту, две пересекающиеся линии укажут приблизительное место нахождения сигнала. Одновременное использование воздушных и наземных (или с борта судна) исследований обычно является наиболее эффективной и рентабельной стратегией слежения. Слежение с воздуха обеспечивает больший пространственный охват и большую дальность приема сигнала (Whitworth et al., 2007). Однако при этом страдает точность определения местоположения сигнала и увеличивается стоимость исследования. В отличие от них, наземные наблюдения обеспечивают более точные координаты сигнала, зачастую позволяя наблю-

дать за мечеными особями. Если птицы, помеченные передатчиком, отслеживаются и находятся в зоне видимости, их местоположение может быть определено с точностью до 5 м. В большинстве случаев визуальное наблюдение невозможно, и их положение определяется приблизительно с разной степенью точности в зависимости от способа слежения. Используя преимущества обоих методов, можно применять слежение с воздуха для приблизительной локализации сигналов на больших территориях, а наземные наблюдения использовать для получения более точных координат. Хотя дальность приема на земле ограничена по сравнению со слежением с воздуха, увеличить ее можно при сканировании эфира с возвышенных участков. Можно применять программируемые регистраторы данных — устройства для хранения данных, которые прикрепляются к передатчикам или встроены в них. Они позволяют проводить слежение за мечеными особями из фиксированных приемных станций. Регистраторы данных лучше всего использовать для подтверждения присутствия или отсутствия меченых птиц в пределах небольшой территории. Как и приемники, регистраторы данных имеют встроенную батарею. Для увеличения срока работы устройства можно использовать внешние источники питания (например, солнечные батареи или батареи 12 В). Регистраторы данных могут быть запрограммированы на проведение непрерывных наблюдений или включаться через заданные интервалы времени для экономии ресурса батареи. В полевых условиях эти данные можно перенести сразу в ноутбук. При наличии надежных, точных и доступных GPS-устройств, времена, когда местоположения объектов телеметрического слежения наносились на топографические карты, почти ушли в прошлое. Ручные GPS-устройства (Global Positioning System) особенно полезны для определения координат птиц, помеченных радиопередатчиками, или наблюдательных станций, а также для оконтуривания зон, выявленных в процессе телеметрического слежения. Простота эксплуатации, портативность и совместимость с большинством компьютерных программ для пространственного анализа данных делает GPS-приемники незаменимыми устройствами при любом радиотелеметрическом исследовании (Whitworth et al., 2007). В настоящее время УКВ-радиопередатчики, включая миниатюрные весом 0.3–0.2 г, могут использоваться практически для всех видов птиц.

Спутниковые передатчики. В настоящее время существуют два основных способа определения местоположения меченой радиопередатчиком птицы при помощи спутниковых систем. В простом случае сигнал, излучаемый передатчиком, принимается пролетающим спутником, и по сдвигу частоты принятого сигнала за счет эффек-

та Допплера вычисляются координаты передатчика. Преимущество этого метода — простота и относительно малая масса передатчика, недостаток — небольшая точность определения координат (табл. 1). Второй способ — закрепление на птице приемника GPS, определяющего координаты путем приема сигналов с пролетающих спутников — в большинстве случаев обеспечивает точность позиционирования объекта в несколько десятков метров. Определенные таким образом координаты меченой особи передаются исследователю сразу или с небольшой задержкой. Для этого требуется вторая система связи — не обязательно спутниковая; часто хватает сотового телефона (модуля GSM) или передатчика с малым радиусом действия для “съема” данных с радиопередатчика. В частности, в работах Минаева (<http://moosefarm.newmail.ru>) рассматриваются радиометки, накапливающие в памяти данные измерений и передающие их через систему связи общего пользования (т.е. открытую для любого пользователя на коммерческой основе).

Последние технологические достижения позволили разработать относительно небольшие передатчики платформенного терминала (ППТ) и передатчики глобальной системы позиционирования (GPS). УКВ-, ППТ и GPS-передатчики имеют характеристики, которые определяют возможности их применения для различных видов птиц и решения разных задач (табл. 1). При выборе ППТ и GPS-передатчика следует принять во внимание их габариты. Масса радиопередатчика не должна превышать 2–3% от веса птицы, хотя для мелких птиц (<50 г) эти показатели можно увеличить до 3–5%.

До недавнего времени маленькие ППТ весили 12–18 г, что ограничивало возможности их использования для видов птиц весом <500 г (например, маленькие утки или чайки). Однако появились более легкие передатчики весом всего 5 г, которые можно размещать и на кукушке (Kristensen, 2010). ППТ передатчик посылает периодический сигнал на спутники, находящиеся на орбите Земли. Он работает на солнечных или специальных батарейках от нескольких месяцев до нескольких лет в зависимости от частоты передаваемых сигналов. В настоящее время широко распространены передатчики системы ARGOS. В этой программе работают 4 спутника, покрывающие поверхность всей Земли. В настоящее время действует более 8000 передатчиков ARGOS. Передатчик испускает сигнал в УКВ-диапазоне на частоте 401 МГц. Сигналы принимаются ARGOS-оборудованием на полярно-орбитальные спутники, которые находятся на высоте 850 км. С этой высоты каждый спутник контролирует все ARGOS передатчики в радиусе 5000 км и все часовые пояса мира. Спутники, принимающие информацию с передатчиков, транслируют ее на землю в реаль-

ном времени на многочисленные станции. Там они записываются на носители и передаются на главные вычислительные центры. Учитывая доплеровский сдвиг частоты, вычисляются координаты птицы с точностью до 100–200 м (табл. 1). Сообщения посылаются через каждые 65 с.

GPS-передатчики, которые весят 20–60 г, могут быть использованы главным образом для крупных птиц весом около 1 кг и более (например, гуси и лебеди). GPS определяет координаты с точностью до 10–20 м (табл. 1). При данном способе локализации объекта используются 24 спутника (на 6 круговых орбитах на высоте 20000 км) и 2 частоты сигнала. Сравнение времени прихода сигналов на разных частотах (L1 и L2) позволяет вычислять дополнительную задержку, возникающую при прохождении радиоволн через ионосферу, что значительно повышает точность измерений навигационных данных. Данный способ вычисления координат является более точным и дорогостоящим, чем ARGOS.

Геолокаторы или логгеры. Кроме указанных выше радиопередатчиков, все более широкое распространение получают так называемые геолокаторы или логгеры, изобретенные нашим соотечественником В. Афанасьевым, ныне живущим в Англии. Логгер – это программируемая микросхема, снабженная хронометром и фотоэлементом. Показания освещенности через определенные интервалы времени записываются в память микросхемы. По уровню освещенности и времени восхода и захода солнца вычисляются координаты местоположения объекта с точностью до 50–100 км (табл. 1). Логгер записывает информацию о пройденном птицей пути (треке) в встроенную память. Впоследствии накопленную информацию из логгера можно поместить в компьютер для анализа, но для этого птицу надо вновь поймать и снять с нее логгер. Это один из главных недостатков этого метода слежения за перемещениями птиц. Другим недостатком является то, что уровень освещенности и время захода и восхода солнца точно измеряются только в том случае, когда логгер находится на открытом для света участке тела птицы. Например, для морских птиц, которые долго сидят на воде, прикрепление логгера к лапе малоэффективно. Поэтому в ряде случаев логгеры снабжают небольшой антенной из стекловолокна, которая находится над пером птицы, давая возможность логгеру измерить уровень освещенности. Несмотря на эти технические ограничения, логгеры начали широко применяться исследователями, поскольку они достаточно дешевы (в Швейцарии и Германии можно приобрести логгеры по цене 100 долларов). Размеры логгеров постоянно уменьшаются, самые маленькие весят <1 г, что позволяет метить мелких воробьиных птиц. Продолжительность рабо-

ты батарейки, которой снабжен логгер, – 2–5 лет в зависимости от размера и типа логгера.

Для перечисленных выше передатчиков можно предусмотреть и другие полезные функции, однако это увеличит их вес, потребление энергии и стоимость. Передатчики можно снабдить датчиками, контролирующими температуру тела (или окружающей среды), давление, частоту сердцебиения или взмахов крыльями и т.п. (Bowlin et al., 2005). Полезно иметь таймеры, запрограммированные на включение и выключение радиопередатчиков на определенное время, что позволяет добиться значительной экономии ресурса батарей.

Влияние радиомечения на организм птицы существенно зависит от конструкции самого передатчика и метода, использованного для его прикрепления. Крупные и неудобные устройства с большей вероятностью будут отрицательно влиять на птиц. Обычно рекомендуют использовать менее крупные передатчики. Внешние передатчики повышают аэродинамическое сопротивление во время полета и гидродинамическое сопротивление для ныряющих видов. Установлено, что птицы с передатчиками имеют повышенную смертность, пониженный успех размножения, более низкую скорость кормления птенцов и подвержены другим отрицательным воздействиям (Whitworth et al., 2007). Предполагается, что передатчик должен оставаться прикрепленным к птице на протяжении всего периода исследования, а затем должен отсоединиться сразу после завершения периода работы. Однако это бывает крайне редко. Нет гарантии, что передатчик не останется прикрепленным к птице при любом способе его фиксации. Например, при исследовании способности к хомингу у мухоловки-пеструшки (*Ficedula hypoleuca*) на Куршской косе Балтийского моря после эксперимента у пяти особей нам не удалось снять передатчики локального действия. На следующий год одна из этих особей вернулась с африканской зимовки с передатчиком и загнездилась, несмотря на то, что тонкая антенна сильно изогнулась и немного мешала птице залезать в дуплянку. Фирма, которая изготовила эти передатчики, гарантировала, что резинка, при помощи которой передатчик крепился к птице, должна была разрушиться через два месяца после начала работы. Наличие передатчика может отражаться на поведении птицы до тех пор, пока она не привыкнет к нему. Некоторые виды крайне негативно относятся к передатчикам, и для их мечения можно применять брюшные или подкожные имплантаты. Имплантация радиопередатчиков – достаточно сложная хирургическая процедура, которая требует квалифицированных специалистов для ее выполнения. Для выбора наиболее эффективного метода крепления передатчика для конкретного вида птиц, следует ознакомиться с литературой по телеметрии и проконсультировать-

ся с опытными специалистами. Можно провести предварительные полевые испытания на небольшом числе птиц, чтобы выяснить отрицательные последствия радиомечения.

Анализ перемещений и распределения животных в пространстве оказался очень сложным процессом (Kenward, 2001; Whitworth et al., 2007). Например, при изучении локальных перемещений птиц, размеров их индивидуальных участков или биотопического распределения при помощи телеметрии работа может быть сведена к простому соединению точек регистрации объекта в форме минимального выпуклого многоугольника, который бы покрывал всю территорию, используемую меченой особью. Можно применять более сложные вероятностные модели, позволяющие найти различия в характере использования особью территории (*home range*), что уже потребует применения более сложных географических информационных систем (ГИС). Знание ГИС обязательно для работающих с данными по перемещению животных. ГИС дает возможность проводить сложное картографирование с целью визуального или статистического анализа зависимостей между положением меченых птиц и местообитаниями, включая климатические переменные (Whitworth et al., 2007). Спутниковые снимки поверхности земли, которые делают доступными для пользователя такие компьютерные программы, как Google Earth (<http://www.earth.google.com>), позволяют добавлять к снимкам пользовательские данные, например, координаты пунктов, снятых с помощью GPS-приемника, или отобразить перемещения птиц. Существующая в настоящее время специальная программа Arcview GIS (Whitworth et al., 2007), наряду с другими, предлагает широкий спектр опций, которые позволяют пользователю фиксировать местонахождения меченой особи на карте, быстро рассчитывать расстояния и скорость передвижения, а также проводить анализ перемещений, использования индивидуальных территорий и местообитаний и решать целый ряд других задач средствами пространственного анализа. Подробнее о методах анализа телеметрических данных можно узнать из специальных обзоров (White, Garrott, 1990; Fuller et al., 2005; Coyne, Godley, 2005; Meyburg, Fuller, 2007; Hart, Nyrenbach, 2009)

Изучение миграций. Наши традиционные представления о путях и направлениях миграции птиц, основанные главным образом на визуальных наблюдениях и данных столетнего кольцевания птиц, в настоящее время существенно меняются благодаря новым данным, полученным с помощью спутниковой телеметрии. Даже у таких хорошо изученных в отношении миграций видов, как европейский белый аист, массовое кольцевание которого продолжается более 100 лет и получено большое количество возвратов колец как с

путей миграции, так и зимовок, спутниковое слежение дает новую важную информацию о разных аспектах миграции этого вида в гнездовой и зимовочной областях их обитания. Благодаря активной деятельности немецких орнитологов под руководством проф. Бертольда в Германии, Польше, Израиле и в Калининградской области России на протяжении последних 20 лет спутниковыми передатчиками помечено около сотни белых аистов (Berthold et al., 2001, 2004; Kaatz, 2004). Получена информация о направлении и дальности миграции птиц из восточных и западных популяций и конкретных сроках пролета и промежуточных остановках птиц (рис. 1). Собраны ценные данные о скорости и высоте перемещения аистов на разных этапах осенней и весенней миграции, уровне смертности птиц во время пролета и т.п. Особенно интересны данные о путях миграции одной пары аистов, гнездящейся в Германии. Спутниковое слежение показало, что осенью самка отправилась в дальнейшее путешествие на зимовку в Южную Африку, а ее партнер предпочел зимовать поближе – в Испании. Однако, несмотря на такую огромную разницу в местоположении мест их зимнего отдыха, обратную миграцию они начали практически в один и тот же день – 22 февраля. Вернулись они в свое гнездо в разное время – самец 9 марта, а самка только 19 апреля.

Не менее ценные новые данные о путях миграции получены с помощью телеметрии и у разных видов дневных хищников (табл. 2, рис. 2, 3). Например, у исследователей на основании визуальных наблюдений в прошлом веке сложилось впечатление, что небольшой сокол Элеонора, гнездящийся на островах Средиземного моря, осенью мигрирует в район зимовки (о-в Мадагаскар) сначала вдоль побережья Средиземного моря, потом побережья Красного моря, а затем вдоль восточного побережья Африки до конечной цели (Stresemann, 1954). Однако недавние исследования путей миграции этого вида с помощью спутниковых датчиков выявили поистине удивительные факты (Gschweng et al., 2008; Lopez-Lopez et al., 2009). Во-первых, этот вид сокола не мигрирует вдоль побережья морей, а летит через Сахару и субэкваториальный пояс Африки, несколько раз кардинально меняя направление миграции, и подлетает к Мозамбикскому проливу, отделяющему Мадагаскар и африканский континент, со стороны суши (рис. 3). Во-вторых, взрослые и молодые птицы летят осенью разными путями. Если у взрослых птиц путь миграции более прямой, в основном направлен в сторону района зимовки, то у молодых особей он значительно сложнее с несколькими поворотами. Не долетая до побережья Гвинейского залива, примерно на широте около 10° с.ш. в районе центральной Нигерии, птицы резко меняют юго-юго-западное направление на восточное или юго-восточное и летят до

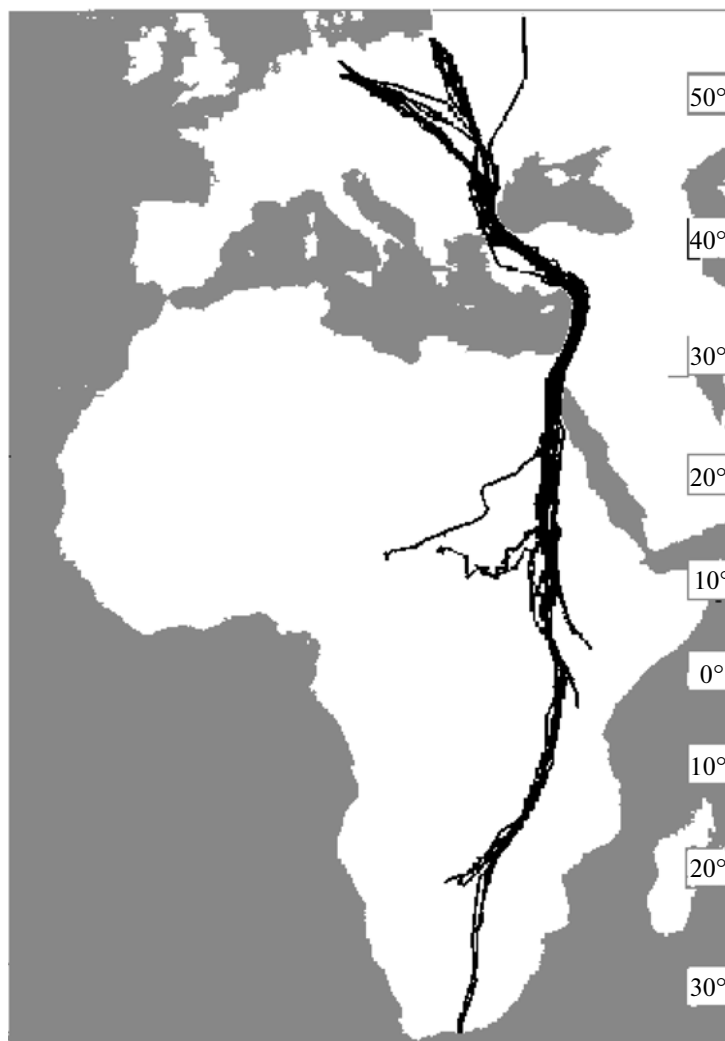


Рис. 1. Маршруты осенней миграции белых аистов (отдельных особей) из разных регионов Европы (данные спутниковой телеметрии: по: Kaatz, 2004).

Уганды, где могут задержаться на продолжительное время; после этого они летят на юго-восток до побережья Мозамбика и затем через пролив шириной около 500 км пытаются добраться до конечной цели миграции – о-ва Мадагаскар. Причем не всем молодым птицам удастся с первого раза пересечь этот пролив. Они садятся на небольшие о-ва, некоторые из них возвращаются обратно на африканский континент, живут там несколько недель, а потом вновь устремляются в район традиционной зимовки. Эти данные порождают целый ряд принципиальных вопросов. Главный из них – каким образом молодые птицы, еще не зимовавшие на Мадагаскаре и не имеющие возможности осуществить импринтинг места зимовки, т.е. “снять” координаты этого места, способны добраться до Мадагаскара таким сложным и долгим путем поодиночке без опытных взрослых птиц. Убедительного ответа на этот во-

прос у специалистов пока нет. В-третьих, обратный путь весной первогодков и взрослых птиц этого вида тоже в значительной мере оказался неожиданным – вместо того, чтобы лететь с Мадагаскара на северо-запад в район гнездования (Италия, Греция) по прямой, птицы устремляются на запад, иногда достигая западного побережья Африки в районе Сенегала и Мавритании (молодые птицы) или Марокко (взрослые птицы), а потом летят на северо-восток до северной Италии и вновь резко меняют направление уже на южное. Только после этого достигают своих островов в Средиземном море (рис. 3).

Существуют удивительные маршруты миграции птиц и к местам зимовок, и к местам гнездования. На одном из пленарных заседаний 25-го Международного орнитологического конгресса, который состоялся в августе 2010 г. в Бразилии, Хигучи (Higuchi, 2010) приводил данные спутни-

Таблица 2. Виды птиц, у которых прослежены пути миграций с помощью телеметрии

Вид	Литература	
Императорский пингвин	<i>Aptenodytes forsteri</i>	Ancel et al., 1992
Адели	<i>Pygoscelis adeliae</i>	Davis et al., 1996
Полярная гагара	<i>Gavia immer</i>	Kenow et al., 2002
Странствующий альбатрос	<i>Diomedea exulans</i>	Jouventin, Weimerskirch, 1990; Nicholls et al., 1996; Weimerskirch, et al. 2006
Черноногий альбатрос	<i>Phoebastria nigripes</i>	Hyrenbach, Dotson, 2001
Белобрюхий буревестник	<i>Puffinus diomedea</i>	Ristow et al., 2000
Кудрявый пеликан	<i>Pelecanus crispus</i>	Morimoto et al., 2005
Большой фрегат	<i>Fregata minor</i>	Weimerskirch et al., 2006
Великолепный фрегат	<i>Fregata magnificence</i>	Weimerskirch et al., 2006
Белый аист	<i>Ciconia ciconia</i>	Kaatz, 2004
Восточный белый аист	<i>Ciconia boyciana</i>	Shimazaki et al., 2004; Higuchi et al., 2000
Черный аист	<i>Ciconia nigra</i>	Jiguet, Villarubias, 2004
Лебедь-трубач	<i>Cygnus buccinator</i>	Strikwerda et al., 1986
Лебедь-кликун	<i>Cygnus cygnus</i>	Pennycuick et al., 1996; Kanai et al., 1997
Американский лебедь	<i>Cygnus columbianus</i>	Higuchi et al., 1991
Огарь	<i>Tadorna ferruginea</i>	Prosser et al., 2009
Белолобый гусь	<i>Anser albifrons</i>	Fox et al., 2003
Голубой гусь	<i>Anser caerulescens</i>	Blouin, 1999
Пискулька	<i>Anser erythropus</i>	Lorentsen et al., 1998; Aarvak, Øien, 2003
Горный гусь	<i>Anser indicus</i>	Javed et al., 2003; Prosser et al., 2009
Короткоклювый гуменник	<i>Anser brachyrhynchus</i>	Glahder et al., 2006
Черная казарка	<i>Branta bernicla</i>	Green et al., 2002
Шилохвость	<i>Anas acuta</i>	Miller et al., 2005
Очковая гага	<i>Somateria fischeri</i>	Petersen et al., 1999
Малая гага	<i>Polysticta stelleri</i>	Petersen et al., 2006
Стервятник	<i>Neophron percnopterus</i>	García-Ripollés et al, 2010
Белоголовый сип	<i>Gyps fulvus</i>	Griesinger et al., 1992
Скопа	<i>Pandion haliaetus</i>	Kjellén et al., 1997; Hake et al., 2001; Stout, Green, 2009
Обыкновенный осоед	<i>Pernis apivorus</i>	Hake et al., 2003; Higuchi et al., 2005;
Луговой лунь	<i>Circus pygargus</i>	Limiñana et al., 2007
Болотный лунь	<i>Circus aeruginosus</i>	Strandberg et al., 2010
Обыкновенный канюк	<i>Buteo buteo</i>	Walls, Kenward, 1995; Strandberg et al., 2009
Ширококрылый канюк	<i>Buteo platypterus</i>	Haines et al., 2003
Канюк Свайнсона	<i>Buteo swainsoni</i>	Fuller et al., 1998
Беркут	<i>Aquila chrysaetus</i>	Brodeur et al., 1996
Могильник	<i>Aquila heliaca</i>	Meyburg, Meyburg, 1998
Степной орел	<i>Aquila nipalensis</i>	Meyburg, Meyburg, 1998; Meyburg et al., 2003
Малый подорлик	<i>Aquila pomarina</i>	Meyburg et al., 2000, 2006
Большой подорлик	<i>Aquila clanga</i>	Meyburg et al., 2005
Обыкновенный змеяд	<i>Circaetus gallicus</i>	Meyburg et al., 1998
Орел Бонелли	<i>Hieraaetus fasciatus</i>	Cadahia et al., 2005, 2008
Орлан-белохвост	<i>Haliaeetus albicilla</i>	Ueta et al., 1998
Белоголовый орлан	<i>Haliaeetus leucocephalus</i>	Grubb et al., 1994
Белоплечий орлан	<i>Haliaeetus pelagicus</i>	Meyburg, Lobkov, 1994; McGrady et al., 2003

Таблица 2. Окончание

Вид	Литература
Сапсан	<i>Falco peregrinus</i> Fuller et al., 1998, Соколов и др., 2010
Чеглок	<i>Falco subbuteo</i> Strandberg et al., 2010
Сокол Элеоноры	<i>Falco eleonora</i> Gschweng et al., 2008; López-López et al., 2009, 2010
Серый журавль	<i>Grus grus</i> Higuchi et al., 1992
Черный журавль	<i>Grus monacha</i> Higuchi et al., 1992; Harris et al., 2000
Японский журавль	<i>Grus japonensis</i> Higuchi et al., 1998
Даурский журавль	<i>Grus vipio</i> Higuchi et al., 1996; 2004; Harris et al., 2000
Белый журавль	<i>Grus leucogeranus</i> Kanai et al., 2002
Джек Маквинса	<i>Chlamydotis macqueenii</i> Judas et al., 2006
Дальневосточный кроншнеп	<i>Numenius madagascariensis</i> Driscoll, Ueta, 2002
Средний кроншнеп	<i>Numenius phaeopus</i> Watts et al., 2008
Малый веретенник	<i>Limosa lapponica</i> Green et al., 2002; Gill et al., 2005, 2008;
Клуша	<i>Larus fuscus</i> Pütz et al., 2008
Полярная крачка	<i>Sterna paradisae</i> Egevang et al., 2010
Глупыш	<i>Fulmarus glacialis</i> Falk, Møller, 1995
Тонкоклювая кайра	<i>Uria aalge</i> Hatch et al., 2000
Толстоклювая кайра	<i>Uria lomvia</i> Hatch et al., 2000
Тупик	<i>Fratercula arctica</i> Anker-Nilssen, Aarvak, 2009
Обыкновенная кукушка	<i>Cuculus canorus</i> Kristensen, 2010

кового слежения за возвратом хохлатых осоедов в район гнездования в Японии. В этом случае осоеды, как и сокола Элеоноры, иногда подлетали к месту гнездования с севера, а не с юга, как должно было бы быть при прямой весенней миграции.

Американские исследователи, изучая с помощью телеметрии перелеты скопы из Северной Америки в Центральную и Южную Америку и обратно, обнаружили, что взрослые птицы предпочитают перемещаться вдоль побережья и над островами Карибского бассейна, в то время как молодые совершают беспосадочные полеты над открытой водой длиной в 2000 км. В одних случаях взрослые птицы из года в год придерживаются одних и тех же маршрутов, в других — одна и та же птица каждую осень выбирает совершенно разные пути миграции в зависимости, по всей видимости, от погодных условий сезона (Martell et al., 2001; Stout et al., 2009).

Интересные данные получены отечественными орнитологами о маршрутах осенней миграции малоизученных тундровых сапсанов с п-ва Ямал (Соколов и др., 2010). Одни самки зазимовали в Испании или Греции, другие в Саудовской Аравии, а некоторые достигли Судана. Любопытно, что в районе гнездования птицы жили в безлюдной тундре, а зимовали часто в многолюдных городах, успешно охотясь на домашних голубей.

Данные спутниковой телеметрии дают возможность выявить продолжительные беспоса-

дочные полеты птиц во время миграции, которые невозможно зафиксировать традиционными методами слежения. Так, по данным американских исследователей, один из помеченных передатчиками средних кроншнепов (*Numenius phaeopus*) пролетел весной без посадки 5150 км за 146 ч (6 сут) над территорией Соединенных Штатов и Канады (Watts, 2008). Другой кулик, малый веретенник (*Limosa lapponica*), совершает еще более длительные беспосадочные перелеты над Тихим океаном, когда осенью (с 30 августа по 7 сентября) мигрирует с Аляски в Новую Зеландию (11700 км) и обратно возвращается весной (с 17 по 24 марта) совершенно другим путем, преодолевая 10 300 км над океаном до Китая и еще 6500 км (со 2 по 8 мая) до Аляски (Gill et al., 2005; Hedenström, 2010). Семь самок веретенника с имплантированными передатчиками совершили беспосадочный полет на расстояния от 8117 до 11680 км всего за 6–9 суток! Наблюдения показали, что веретенники начинают миграцию с Аляски при попутных ветрах. Такие беспосадочные полеты свидетельствуют о совершенных физиологических способностях птиц (Pennycuik, 2003; Gill et al., 2008).

Важные данные о дальних перемещениях птиц могут быть получены не только с помощью спутниковой телеметрии, но и при использовании специальных геолокаторов (логгеров), устройство которых было описано выше. При помощи этого относительно нового метода были получе-

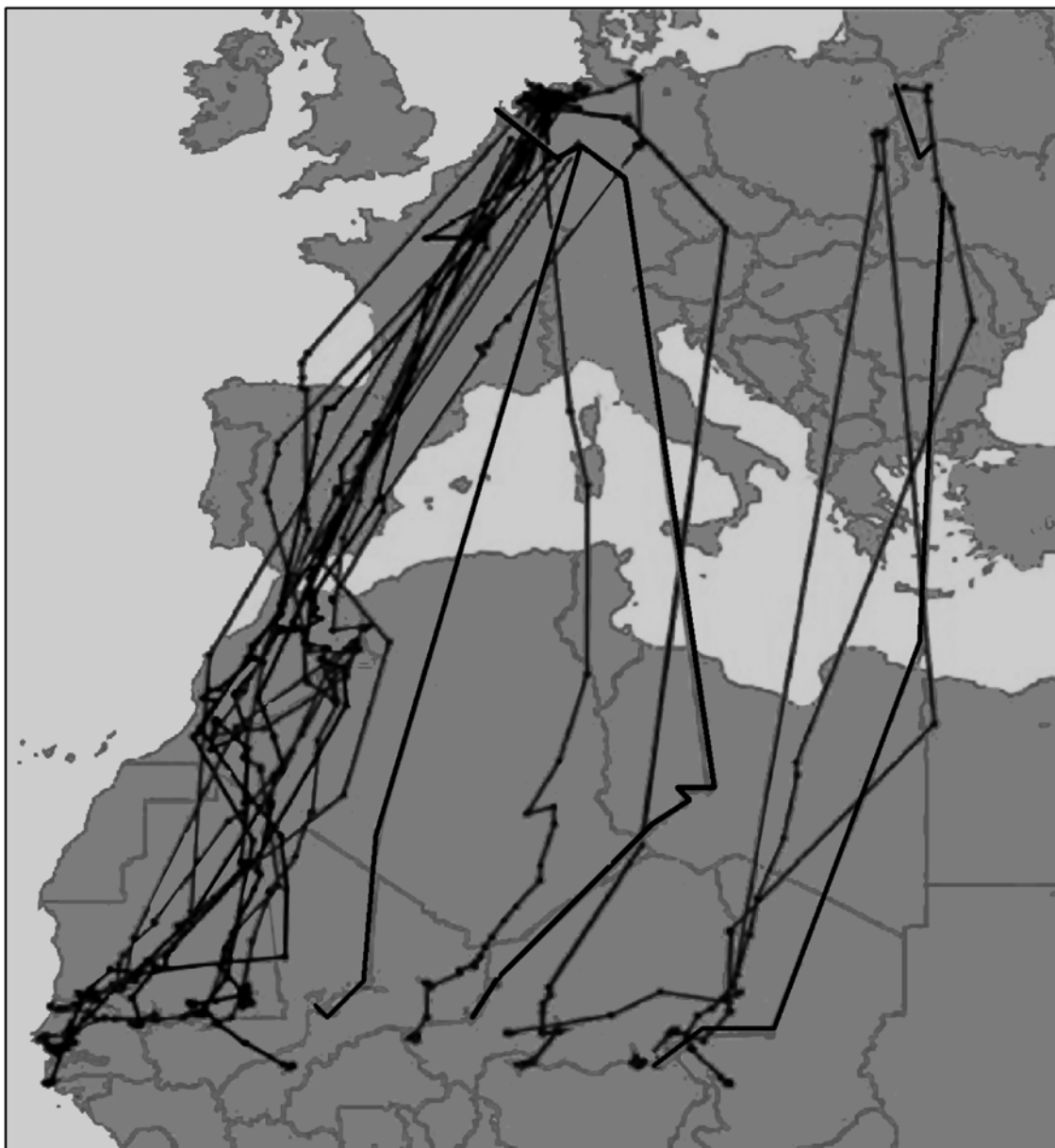


Рис. 2. Маршруты осенней миграции луговых луней (отдельных особей) из Западной и Восточной Европы (данные спутниковой телеметрии, по: Limiñana et al., 2007).

ны данные о перемещениях полярной крачки (*Sterna paradise*), которая совершает самые дальние (из птиц) миграции из районов Арктики к Антарктиде и обратно (Egevang et al., 2010). Было выяснено, что осенью птицы большую часть пути следуют вдоль западного берега Африки, тогда как весной они приближаются к Южной и Северной Америке (рис. 4). Осенью птицы пролетают около 34600 км со средней скоростью 330 км/сут, а весной заметно меньше — 25700 км со скоростью 520 км/сут. Осенняя миграция занимает около 93 сут (69–103 сут), а весенняя — всего

40 сут (36–46 сут). В район зимовки птицы прилетают в среднем 24 ноября. Сроки прилета отдельных птиц — 25 октября–30 ноября. Отлетают они 12–19 апреля. Продолжительность пребывания в районе зимовки 139–173 сут. Во время зимовки птицы активно перемещаются, средняя дистанция зимних перемещений составляет около 11000 км. Таким образом, общая дистанция перемещений полярной крачки в течение года достигает 71000 км. Кроме того, при помощи геолокаторов было установлено, что в северной части Атлантического океана полярные крачки имеют место для проме-

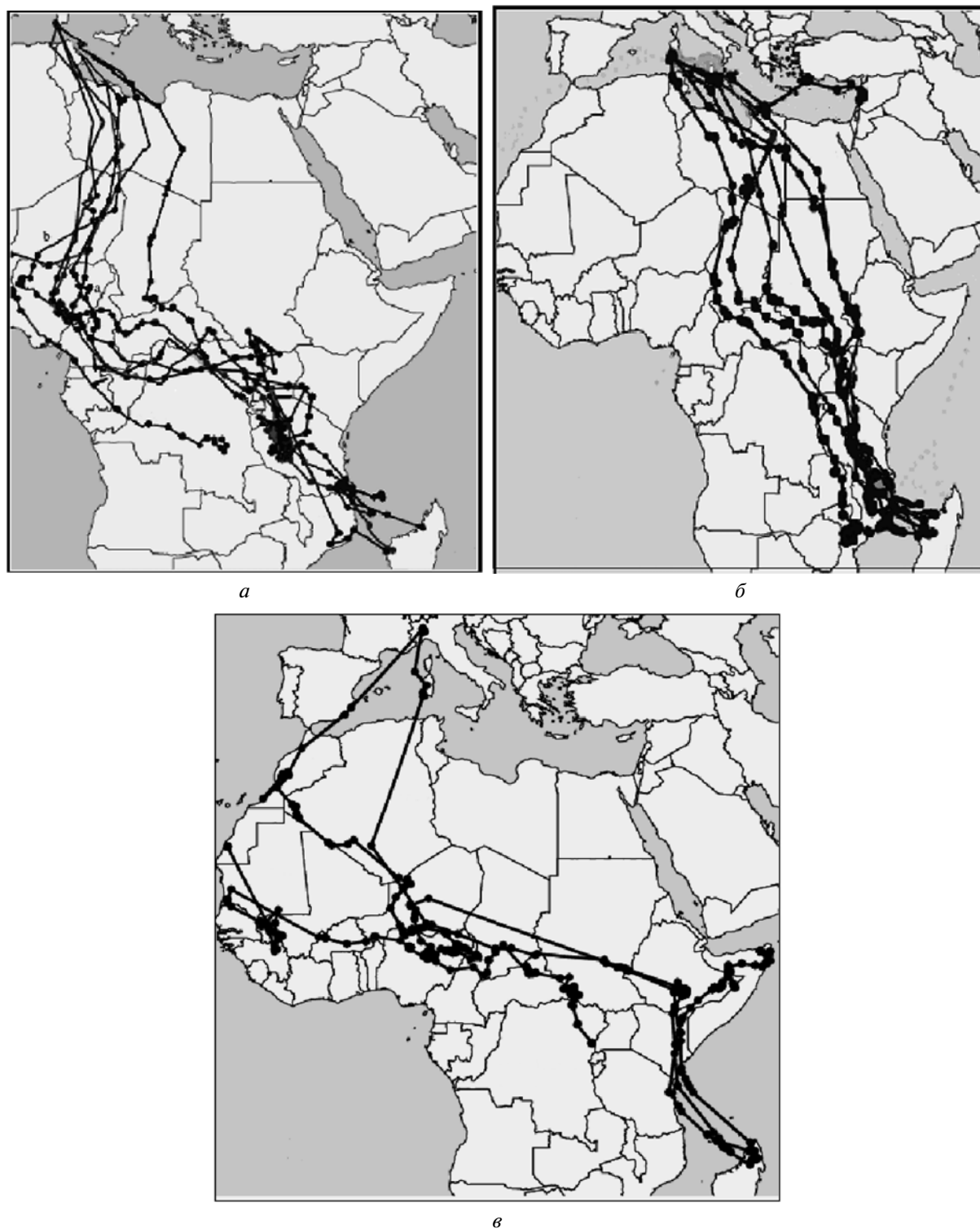


Рис. 3. Маршруты осенней и весенней миграции молодых ($n = 7$) и взрослых ($n = 6$) особей соколов Элеонора (данные спутниковой телеметрии, по: Gschweng et al., 2008): *а* – осенняя миграция молодых, *б* – осенняя миграция взрослых, *в* – весенняя миграция молодых ($n = 2$) и взрослых ($n = 2$) особей.

жуточной остановки, где они держатся в среднем около 25 сут, преимущественно во второй половине августа.

Совсем недавно были созданы геолокаторы весом <1 г, которые позволили метить мелких воробьиных птиц. Благодаря этому, американцы

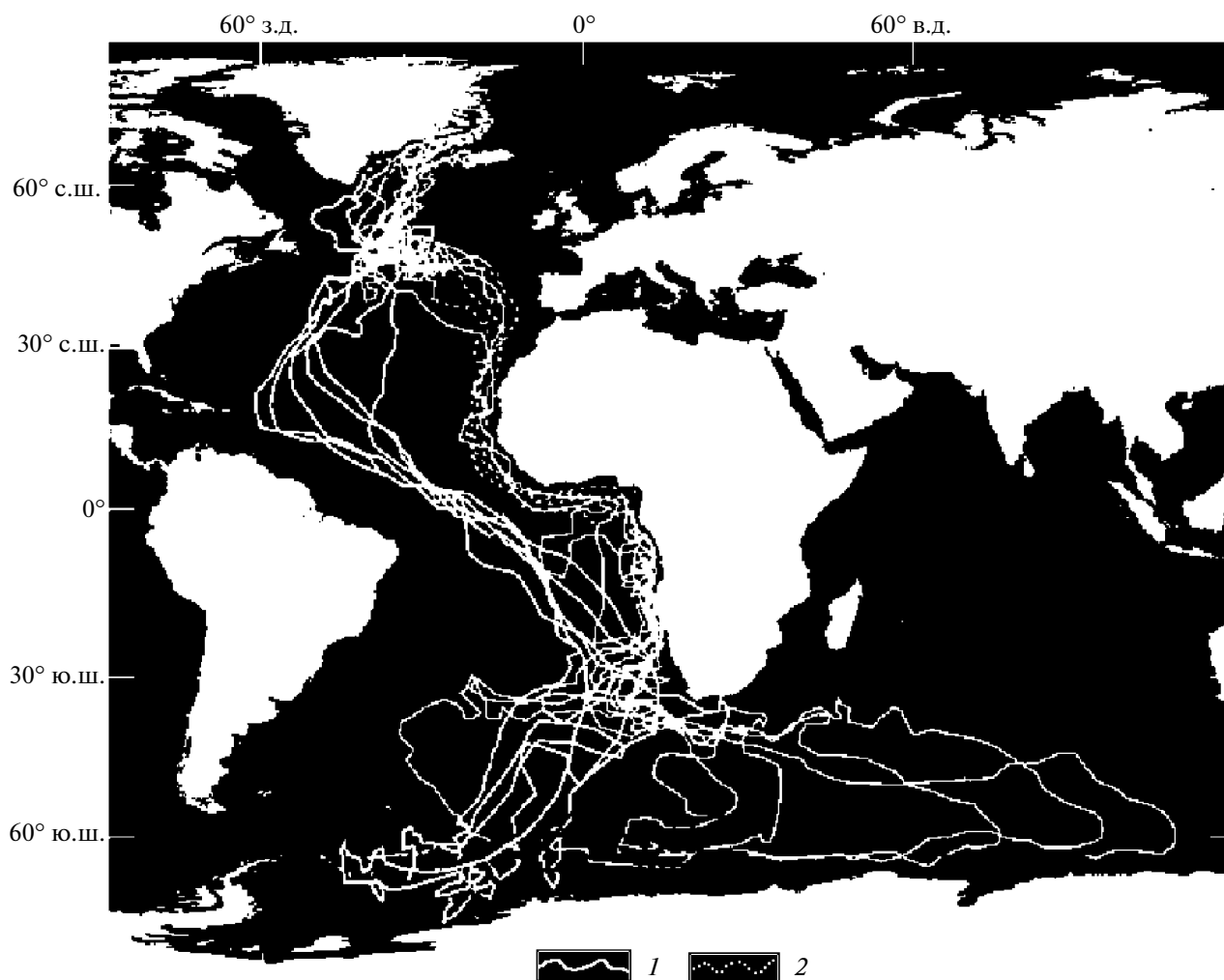


Рис. 4. Маршруты весенних, зимних (1) и осенних (2) перемещений полярной крачки на миграциях и зимовках (данные геолокатора, по: Egevang et al., 2010).

проследили маршрут миграции через Мексиканский залив лесного дрозда (*Hylocichla mustelina*) и пурпурной ласточки (*Progne subis*). Анализ данных по нескольким особям показал, что если дрозды осенью и весной предпочитают пересекать Мексиканский залив по прямой, то пурпурные ласточки летят из района гнездования (штат Пенсильвания, США) в Южную Америку и обратно преимущественно над сушей (Stutchbury et al., 2009). Весенняя миграция у обоих видов проходила в несколько раз быстрее, чем осенняя. Одна из самок пурпурной ласточки покинула район зимовки (бассейн р. Амазонки) 12 апреля и в течение 13 дней пролетела около 7500 км со средней скоростью 577 км/день. Девять дней птица потратила непосредственно на полет, а 4 дня — на миграционные остановки. Скорость весенней миграции дроздов была примерно в два раза ниже, чем у ласточек — 233–271 км/день.

Слежение за перемещением птиц с помощью спутниковой телеметрии дает возможность исследователю получить ценную информацию не только о направлении и дальности миграции птицы, но и о скорости ее движения на разных участках маршрута, высоте полета в разное время суток и т. д. Например, исследование осенней миграции обыкновенных осоедов (*Pernis apivorus*) из Европы в Западную Африку показало, что наибольшую скорость перемещения (около 400 км/день) взрослые и молодые птицы развивают при пересечении пустыни Сахара, а наименьшую — в области гнездования и зимовки (рис. 5). Наиболее высокая скорость полета (более 50 км/ч) была зарегистрирована у птиц в первой половине дня (Наке et al., 2003).

Анализ весенних перемещений горных гусей из Индии в Непал, помеченных спутниковыми датчиками, показал, что птицы пересекали Гималаи на высоте более 6 км (Javed et al., 2003; Prosser

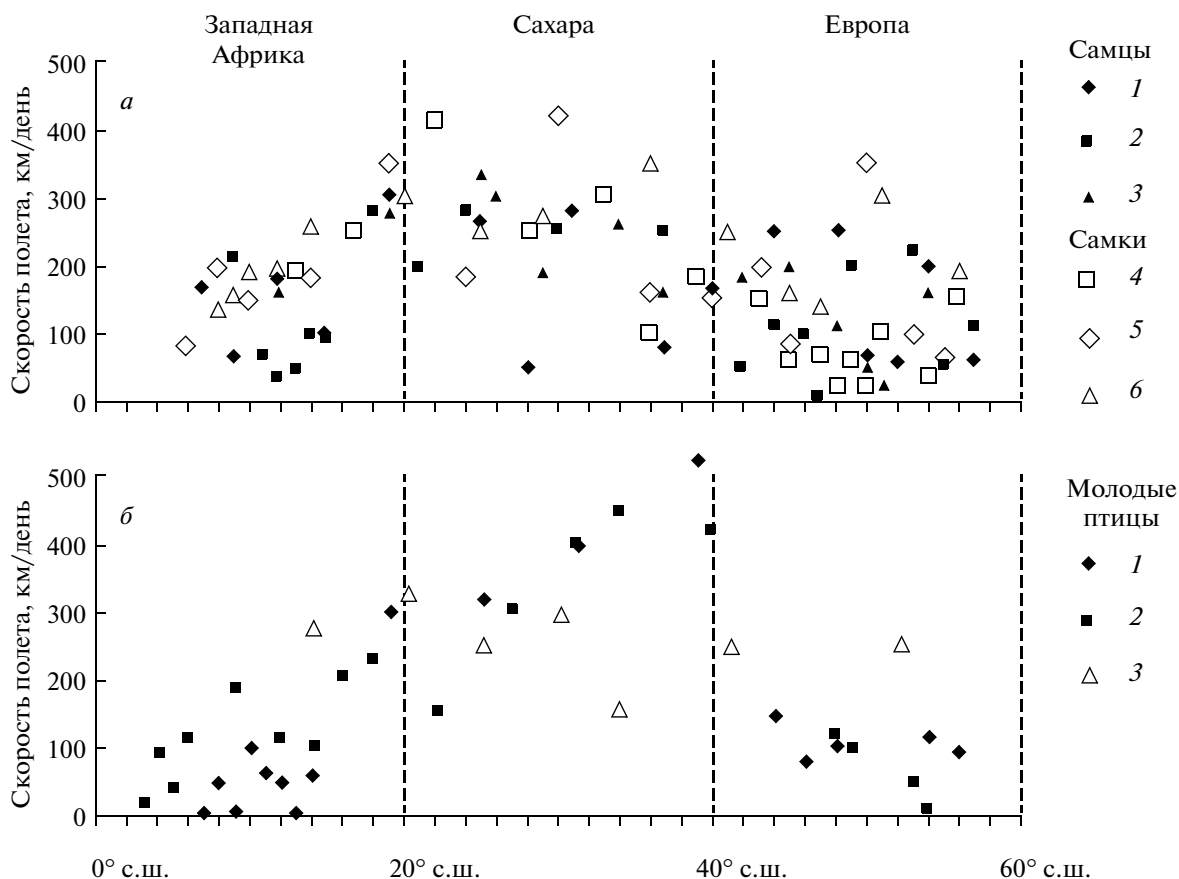


Рис. 5. Скорость осенней миграции обыкновенных осоедов в Европе и Африке (данные спутниковой телеметрии, по: Nake et al., 2003): а – взрослые птицы (n = 6), б – молодые птицы (n = 3).

et al., 2009). Гуси успешно прибыли в район гнездования, расположенный на Тибетском плато на высоте 4450 м в 750 км к северу от мест зимовки.

Изучение ориентации и навигации. Применение телеметрии дает возможность изучать не только перелеты, но и способность птиц к ориентации и навигации во время миграции. Один из таких примеров – эксперименты с искусственной задержкой выкормленных молодых белых аистов на Куршской косе Балтийского моря с целью проверки гипотезы о врожденном направлении осенней миграции у молодых птиц (Chernetsov et al., 2004). Ранее на основании многочисленных данных кольцевания предполагалось, что у белых аистов из Восточной и Западной Европы есть разные врожденные программы следования из районов гнездования к местам зимовки в Африке – птицы из восточных популяций (включая Восточную Германию) осенью огибают Средиземное море с востока, следуя так называемым восточным путем через Турцию, Израиль, Египет, в то время как птицы западных популяций (от Западной Германии до Испании) летят в Африку другим, западным путем через Гибралтарский пролив, Марокко и далее. Важно было экспери-

ментально проверить, действительно ли у молодых аистов путь первой осенней миграции генетически запрограммирован. Для этого необходимо было молодых аистов задержать в районе рождения до того момента, когда все взрослые птицы улетят в Африку, и проследить с помощью спутниковой телеметрии каким путем полетят выпущенные птицы. Такой эксперимент был поставлен Чернецовым с коллегами на Биологической станции в пос. Рыбачий на Куршской косе (Chernetsov et al., 2004). Три группы птенцов аистов, взятых из гнезд в Калининградской обл., содержали в открытой вольере до 7, 11 и 21 сентября, после чего были выпущены на волю. Обычно аисты из Калининградской обл. улетают к началу сентября. Каждая особь была снабжена спутниковым передатчиком, с помощью которого проводилось постоянное слежение за перемещениями птиц. Кроме этого, непосредственно в гнездах была помечена спутниковыми передатчиками контрольная группа из четырех птенцов, которая имела возможность улететь на зимовку в нормальные для популяции сроки. Птицы из контрольной группы, как и следовало ожидать, полетели на зимовку путем, естественным для во-

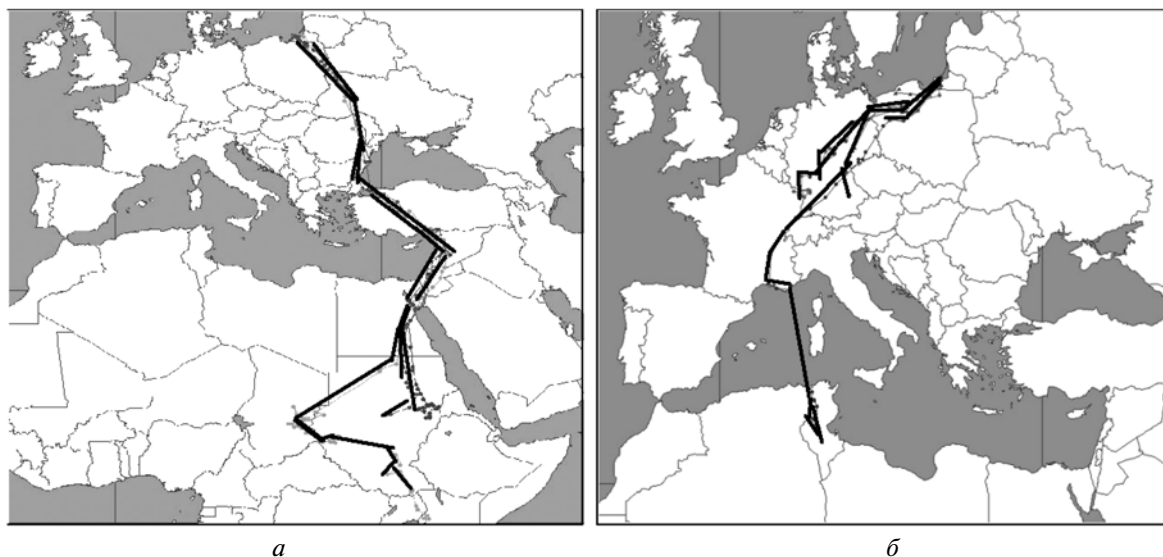


Рис. 6. Маршруты осенней миграции белых аистов из Калининградской обл. (данные спутниковой телеметрии): а — птицы из контрольной группы ($n = 4$), б — птицы из экспериментальной группы ($n = 5$) (по: Chernetsov et al., 2004).

сточных популяций белых аистов — на юго-восток через Турцию, Израиль, Египет до Судана (рис. 6). Птицы из экспериментальных групп, отлет которых был задержан, неожиданно для исследователей полетели на юго-запад через Польшу и Германию. Один из этих аистов долетел до средиземноморского побережья Франции и даже пересек Средиземное море в его достаточно широкой части, пролетев 752 км за 26 ч, и остался на первую зимовку в Тунисе (рис. 6). Обычно аисты избегают лететь над обширными водными пространствами, но эта птица успешно преодолела значительный водный барьер. Интересна дальнейшая судьба этой птицы. Вторую зимовку она провела в районе оз. Чад в Нигерии, затем весной перелетела в Испанию, где провела лето и третью зиму, а 30 марта 2003 г. она была обнаружена в 220 км от места своего рождения в Польше. 24 августа того же года птица отправилась на зимовку в Африку, но уже юго-восточным путем, как аисты восточных популяций. 28 сентября птица приблизилась к месту своей прошлогодней зимовки в районе оз. Чад, затем повернула на запад и осталась зимовать в западном Судане. В первых числах марта 2004 г. птица отправилась в район своего рождения традиционным путем через Египет, Израиль и Турцию и 14 апреля закончила весеннюю миграцию в северной Польше (Chernetsov et al., 2005). Авторы этого эксперимента пришли к выводу, что молодые аисты при выборе направления своей первой миграции руководствуются не столько врожденной программой, которая, возможно, задает только грубую ориентацию в южном, а не северном направлении, сколько опираются на опыт взрослых птиц, совместно с которыми летят во время первой миграции. Это

подтверждает наблюдение, когда помеченный спутниковым передатчиком аист из группы задержанных на Куршской косе в центре Германии резко сменил юго-западное направление миграции на юго-восточное. По всей видимости, он встретил на своем пути поздно мигрирующего взрослого аиста, который следовал на зимовку в юго-восточном направлении, примкнул к нему и долетел таким образом до Турции. Без телеметрического прослеживания исследователям не удалось бы поставить такого рода эксперименты и получить столь ценные результаты. Другой эксперимент по изучению магнитной ориентации птиц во время миграции с использованием радиопередатчиков локального действия был проведен исследователями на территории США на дроздах рода *Hylocichla* (Cochran et al., 2004).

Применение спутниковой телеметрии возможно и при исследовании навигационных возможностей птиц. Сейчас некоторые исследователи проводят эксперименты по смещению птиц с весенней миграционной трассы и пытаются выяснить, способны ли они почувствовать смещение по долготе и сделать поправку в направлении своего движения к цели миграции — локальному району гнездования или рождения (Chernetsov et al., 2008). Пока эти эксперименты проводятся на воробьиных птицах с использованием круглых клеток Эмлена для выявления ориентационной направленности. Однако в ближайшем будущем исследователи перейдут к так называемым экспериментам в природе, когда на смещенных с трассы птиц будут надевать спутниковые передатчики и прослеживать весь путь птицы к цели миграции. Перед этим птиц можно будет помещать на время в кольца Гельмгольца, которые могут менять на-

правление магнитного поля, и изучать влияние этих действий на способности птиц двигаться в направлении цели. Такие эксперименты могут существенно продвинуть нас в понимании работы навигационных механизмов у птиц, поскольку любые лабораторные эксперименты оставляют массу неопределенностей в отношении изучаемых объектов: реальны ли исследуемые процессы или это артефакты, связанные с содержанием птиц в искусственных условиях.

Изучение дисперсии и хоминга. Еще в 60-х гг. прошлого века Годфрей и Маршалл (Godfrey, Marshall, 1969) исследовали распадение выводков и расселение молодых воротничковых рябчиков (*Bonasa umbellus*) с помощью радиопередатчиков. Оба помеченных выводка распались 7 сентября, но птицы оставались на прежних местах еще неделю. Далее началось расселение молодых птиц. Оно происходило в два этапа: 24 сентября и 7 октября и было связано с прохождением холодного фронта. Несмотря на отсутствие связи между особями, расселение началось синхронно, и беспорядочные перемещения стали ориентироваться в одном определенном направлении. При расселении большую часть пути птицы шли пешком. В среднем особь за сутки перемещалась на 874 м (максимум на 1740 м). За 2–4 дня особи сместились на 1.5–8.0 км, после чего перемещения вновь стали беспорядочными. Другое радиослежение за выводком дымчатого тетерева (*Dendragapus obscurus*), проведенное Лансом (Lance, 1970), показало, что с 1 по 6 сентября выводок прошел пешком днем 2.5 км строго в одном направлении, преодолевая разного рода препятствия и не пытаясь их обходить. По окончании перемещений выводок в течение 6 сут держался вместе, потом распался. Получение такой подробной информации о маршруте перемещения молодых птиц у указанных выше видов без метода радиотелеметрии было бы невозможно.

Когда микропередатчики стали весить <1 г, стало возможным исследовать дисперсию и хоминг не только у крупных видов птиц, но и у мелких воробьиных. Благодаря телеметрии, исследователям удалось получить новую информацию как о послегнездовой жизни птиц, так и об их способности находить свою территорию в период гнездования. Например, на Куршской косе Балтийского моря Мухину с коллегами удалось открыть явление ночной послегнездовой дисперсии у молодых камышовок (*Acrocephalus scirpaceus*) и славок (*Sylvia atricapilla*, *S. borin*). Оказалось, что молодые особи в возрасте от 30 до 50 сут совершают ночные полеты в районе рождения на расстояния в несколько километров (Mukhin et al., 2005). Авторы предполагают, что ночные перемещения молодым птицам необходимы для развития их способности ориентироваться по звездам перед началом осенней мигра-

ции и, возможно, чтобы запечатлеть навигационную цель для весенней миграции.

У камышовок при помощи телеметрии были обнаружены не только ночные перемещения молодых птиц в послегнездовой период, но и выявлена способность взрослых птиц во время гнездования возвращаться к дому ночью (Mukhin et al., 2009). Удаляя самцов на разные расстояния от гнезда (от 2 до 21 км), авторы обнаружили, что птицы возвращаются исключительно ночью через несколько суток, поскольку требуется достаточно много времени, чтобы появился ночной тип двигательной активности, подобный миграционной. Авторы предполагают, что такое поведение, по-видимому, является адаптивным для видов, обитающих во фрагментарных биотопах.

В отличие от камышовок, у мухоловки-пеструшки мы не выявили способности к ночному хомингу при помощи телеметрии (Kosarev, Sokolov, 2007). Все удаленные от гнезда 40 самцов на расстоянии от 2 до 10 км возвращались исключительно в светлое время суток. В солнечную погоду птицы возвращались намного быстрее (в течение нескольких часов), чем в облачную (через сутки и более). Анализ траекторий движения большинства удаленных от гнезд птиц позволил выделить две четкие фазы их перемещений в процессе поиска гнезда. Вначале после выпуска птицы двигаются в разных направлениях примерно в радиусе 0.5 км (минимум 3 ч), затем целенаправленно к своему гнезду и за 20–30 мин пролетают расстояние в 10 км. Мы предполагаем, что во время первой фазы птицы сначала пытаются найти свое гнездо в районе выпуска (некоторые особи даже залезали в пустые дуплянки), а затем определить свои координаты по отношению к дому, на что у них уходит несколько часов. После того как они выяснят в каком направлении находится их дом, они быстро возвращаются к своему гнезду. Возможно, что для правильной ориентации в пространстве птицам необходимо видеть солнце. Позже Гаврилов (Гаврилов и др., 2010) получил при помощи телеметрии сходные данные по мухоловке-пеструшке и зарянке (*Erithacus rubecula*) на территории Звенигородской биостанции. Взрослые птицы, увезенные на 1–5 км от гнезда, также возвращались к дому исключительно днем, хотя зарянка ведет более сумеречный образ жизни, чем мухоловка-пеструшка. В ясную погоду птицы возвращались быстрее, чем в облачную. Без телеметрии такие данные не удалось бы получить.

Изучение сроков сезонных явлений. Нередко исследователю необходимо определить точную дату начала миграции, дисперсии или другого рода перемещений у птиц. Обычными методами сделать это достаточно трудно, а в ряде случаев практически невозможно. Например, исследователям, к сожалению, очень мало известно о точных сроках

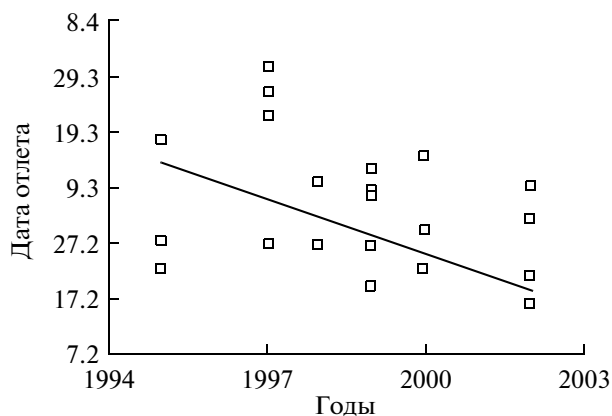


Рис. 7. Сроки отлета белых аистов, помеченных спутниковыми передатчиками, с африканских зимовок в разные годы. Каждый квадратик — отдельная птица (по: Kosarev, Sokolov, 2007a).

отлета птиц с зимовок. Это очень важная информация, которая необходима для понимания роли современных климатических изменений в жизни птиц (Соколов, 2010). В настоящее время подавляющее большинство орнитологов придерживается традиционной концепции, согласно которой перелетные птицы, в первую очередь, дальние мигранты, из года в год начинают весеннюю миграцию примерно в сходные календарные даты (с отклонением не более 7 дней от средней многолетней даты), которые генетически специфичны для каждого вида и популяции (Дольник, 1975). Эта концепция доминирует до сих пор, несмотря на то, что в последние три десятилетия в разных странах Европы и в Северной Америке многие исследователи регистрируют более ранний прилет птиц в районы гнездования по сравнению с предыдущими десятилетиями (Соколов, 2010). Эта тенденция обнаружена у многих видов, которые мигрируют не только в пределах одного континента, но и между континентами. Большинство исследователей согласно, что главной причиной столь существенного изменения сроков весенней миграции является потепление климата в Северном полушарии. Однако многие считают, что существенно изменились не сроки отлета птиц с зимовок, а скорость их перемещения по трассе, хотя конкретных данных, подтверждающих это важное предположение очень мало. Спутниковое слежение за птицами могло бы помочь решить эту проблему.

Нам удалось проанализировать данные спутниковой телеметрии о сроках отлета белых аистов с африканских зимовок, собранные немецкими орнитологами почти за 20 лет (Kosarev, Sokolov, 2007a). У 22 взрослых птиц на протяжении 6 лет (начиная с 1992 г.) определяли точное время начала их весенних перемещений в Европу. Выяснилось, что средняя дата отлета белых аистов прихо-

дится на 20 февраля, однако в 1997 г. птицы начали миграцию на месяц позже — 20 марта (рис. 7). В этот год в феврале было отмечено похолодание на огромной территории от Черного и Каспийского морей до побережья Гвинейского залива. Оно охватило всю Восточную Африку и районы Сахеля. Это, по-видимому, ухудшило кормовые условия, в результате чего аисты надолго задержали свой отлет с мест зимовки. Таким образом, мы пришли к выводу, что время начала весенней миграции у белых аистов в значительной мере зависит от погодных условий в местах зимовки в Африке и может существенно изменяться по годам (до 1 мес), что противоречит общепринятой концепции о регуляции начала весеннего миграционного состояния у птиц. К сожалению, других прямых долговременных наблюдений за сроками отлета птиц с мест зимовок в Африке или Центральной и Южной Америке практически нет.

Работая над данным обзором, мне удалось разыскать около 200 источников информации, где приводятся конкретные данные о тех или иных телеметрических исследованиях, проведенных на птицах. Большинство из этих данных опубликованы в журналах или книгах, часть просто размещена на соответствующих сайтах в Интернете. Безусловно, в мое поле зрения попали не все опубликованные или помещенные в Интернете данные, но даже те, которые были проанализированы свидетельствуют о том, что метод телеметрии находит широкое распространение среди орнитологов, правда, к сожалению, преимущественно западных. Ограниченное применение отечественными исследователями этого метода контроля за перемещением птиц объясняется, в первую очередь, его относительной дороговизной. Тем не менее без телеметрии у полевой отечественной орнитологии нет будущего. Это не значит, что при помощи телеметрии можно решить все задачи. Телеметрия — это только метод исследования. Важно грамотно его применять и четко представлять, что планируется изучить с его помощью. Если нет финансовых возможностей использовать в своих исследованиях дорогие спутниковые передатчики, можно сосредоточить свое внимание на микропередатчиках ограниченного действия, которые не так дороги, но дают не менее ценные результаты при изучении дисперсии, хоминга, ориентации, территориального поведения, физиологии и других аспектов жизни птиц. Возможности современной телеметрии широки.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данное исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ (10-04-00721-а Л.В.С.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гаврилов В.В., Вострещова Е.В., Гаврилов В.М., 2010. Исследование ближнего хоминга у лесных воробьиных птиц с использованием радиопередатчиков // Орнитология в Северной Евразии. Материалы XIII Междунар. орнитол. конф. Северной Евразии. Оренбург: Изд-во ОПГУ. С. 95.
- Дольник В.Р., 1975. Миграционное состояние птиц. М.: Наука. С. 1–398.
- Косарев В., Кобылков Д., 2010. Развитие предмиграционного ожирения на местах размножения у тростниковых камышевок (*Acrocephalus scirpaceus*) перед началом осенней миграции по данным радиотелеметрии // Орнитология в Северной Евразии. Материалы XIII Междунар. орнитол. конф. Северной Евразии. Оренбург: Изд-во ОПГУ. С.163.
- Минаев А.Н., 2011. (<http://moosefarm.newmail.ru>)
- Соколов Л.В., 2010. Климат в жизни растений и животных. СПб: Изд-во ТЕССА. С. 1–344.
- Соколов А.А., Диксон Э., Соколов В.А., 2010. Сокол-сапсан (*Falco peregrinus calidris*) на юго-западном Ямале: результаты спутникового слежения // Орнитология в Северной Евразии. Материалы XIII Междунар. орнитол. конф. Северной Евразии. Оренбург: Изд-во ОПГУ. С. 291–292.
- Чернецов Н.С., 2010. Миграция воробьиных птиц: остановки и полет. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 1–178.
- Штейнбахер И., 1956. Перелеты птиц и их изучение. М.: Иностран. лит-ра. С. 1–162.
- Aarvak T., Øien I.J., 2003. Moulting and autumn migration of non-breeding Fennoscandian Lesser White-fronted Geese *Anser erythropus* mapped by satellite telemetry // Bird Conserv. Internat. V. 13. P. 213–226.
- Aborn D.A., Moore F.R., 1997. Pattern of movement by Summer Tanagers (*Piranga rubra*) during migratory stopover: a telemetry study // Behaviour. V. 134. № 13–14. P. 1077–1100.
- Åkesson S., Alerstam T., Hedenström A., 1996. Flight initiation of nocturnal passerine migrants in relation to celestial orientation conditions at twilight // J. Avian Biol. V. 27. P. 95–102.
- Åkesson S., Walinder G., Karlsson L., Ehnбом S., 2001. Reed warbler orientation: initiation of nocturnal migratory flights in relation to visibility of celestial cues at dusk // Anim. Behav. V. 61. № 1. P. 181–189.
- Ancel A., Gender J.-P., Lignon J., Jouventin P., Le Maho Y., 1992. Satellite radio-tracking of emperor penguins walking on sea-ice to reefed at sea // Wildlife telemetry: remote monitoring and tracking of animals. N.Y.: Ellis Horwood Ltd. P. 201–202.
- Anker-Nilssen T., Aarvak T., 2009. Satellite telemetry reveals post-breeding movements of Atlantic puffins *Fratercula arctica* from Røst, North Norway // Polar Biol. V. 3. P. 44–50.
- Bächler E., Hahn S., Schaub M., Arlettaz R., Jenni L. et al., 2010. Year-round tracking of small trans-Saharan migrants using light-level geolocators // PLoS ONE. V. 5. № 3. P. 9566.
- Bahat O., 1992. Post-fledging movements of Golden Eagles (*Aquila chrysaetos homeyeri*) in the Negev Desert, Israel, as determined by radio-telemetry // Wildlife telemetry: remote monitoring and tracking of animals. N.Y.: Ellis Horwood Ltd. P. 612–621.
- Battley P.F., 2006. Consistent annual schedules in a migratory shorebird // Biol. Lett. V. 2. № 4. P. 517–520.
- Beekman J.H., Berthold P., Nowak E., Querner U., 1996. Implementation of satellite tracking in studying migration of Anatidae: an overview and a case study // Gibier Faune Sauvage. V. 13. P. 157–176.
- Benvenuti S., 1993. Bird-borne satellite transmitters: current limitations and future prospects // Avocetta. V. 17. P. 35–39.
- Berthold P., Kaatz M., Querner U., 2004. Long-term satellite tracking of white stork (*Ciconia ciconia*) migration: constancy versus variability // J. Ornithol. V. 145. P. 356–359.
- Berthold P., van den Bossche W., Fiedler W., Kaatz C., Kaatz M., 2001. Detection of a new important staging and wintering area of the white stork *Ciconia ciconia* by satellite tracking // Ibid. V. 143. P. 450–455.
- Blouin F., Giroux J.F., Ferron J., Gauthier G., Doucet G.J., 1999. The use of satellite telemetry to track Greater Snow Geese // J. Field Ornithol. V. 70. P. 187–199.
- Bögel R., Burchard D., 1992. An air pressure transducer for telemetering night altitude of birds // Proc. 4th Eur. Conf. Wildl. Telem. N.Y.: Ellis Horwood Ltd. P. 100–106.
- Bolshakov C.V., Chernetsov N., 2004. Initiation of nocturnal flight in two species of long-distance migrants (*Ficedula hypoleuca* and *Acrocephalus schoenobaenus*) in spring: a telemetry study // Avian Ecol. and Behav. V. 12. P. 63–76.
- Bolshakov C.V., Chernetsov N., Mukhin A., Bulyuk V.N., Kosarev V. et al., 2007. Time of nocturnal departures in European robins, *Erithacus rubecula*, in relation to celestial cues, season, stopover duration and fat stores // Anim. Behav. V. 74. № 4. P. 855–865.
- Bowlin M.S., Cochran W.W., Wikelski M.C., 2005. Biotelemetry of new world thrushes during migration: physiology, energetics and orientation in the wild // Integr. Comp. Biol. V. 45. P. 295–304.
- Brodeur S., Decarie R., Bird D.M., Fuller M., 1996. Complete migration cycle of Golden Eagles breeding in Northern Quebec // Condor. V. 98. P. 293–299.
- Bunck C.M., Chen C.-L., Pollock K.H., 1995. Robustness of survival estimates from radio-telemetry studies with uncertain relocation of individuals // J. Wildlife Manag. V. 59. P. 790–794.
- Cadahía L., Urios V., Negro J.J., 2005. Survival and movements of satellite tracked Bonelli's eagles during their first winter // Ibis. V. 147. P. 415–419.
- Cadahía L., López-López P., Urios V., Negro J.J., 2008. Estimating the onset of dispersal in endangered Bonelli's Eagles *Hieraetus fasciatus* tracked by satellite telemetry: a comparison between methods // Ibis. V. 150. P. 416–420.
- Chernetsov N., Berthold P., Querner U., 2004. Migratory orientation of first-year white storks (*Ciconia ciconia*): inherited information and social interactions // J. Exp. Biol. V. 207. P. 937–943.
- Chernetsov N., Kaatz M., Querner U., Berthold P., 2005. Viерjährige satelliten-telemetrie eines Weißstorchs *Cico-*

- nia ciconia* vom selbständigwerden an – beschreibung einer Odyssee // Vogelwarte. V. 43. P. 39–42.
- Chernetsov N., Kishkinev D., Mouritsen H., 2008. A long-distance avian migrant compensates for longitudinal displacement during spring migration // *Curr. Biol.* V. 18. P. 188–190.
- Clausen P., Green M., Alerstam T., 2003. Energy limitations for spring migration and breeding: the case of Brent Geese *Branta bernicla* tracked by satellite telemetry to Svalbard and Greenland // *Oikos*. V. 103. P. 426–445.
- Cochran W.W., Montgomery G.G., Craber R.R., 1967. Migratory flights of *Hylocichla* thrushes in spring: a radio-telemetry study // *Living Bird*. V. 6. P. 213–225.
- Cochran W.W., Mouritsen H., Wikelski M., 2004. Migrating songbirds recalibrate their magnetic compass daily from twilight cues // *Science*. V. 304. P. 405–408.
- Coyne M.S., Godley B.J., 2005. Satellite tracking and analysis tool (STAT): an integrated system for archiving, analyzing and mapping animal tracking data // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* V. 301. P. 1–7.
- Davis L.S., Boersma P.D., Court G.S., 1996. Satellite telemetry of the winter migration of Adelie penguins (*Pygoscelis adeliae*) // *Polar Biol.* V. 16. P. 221–225.
- Driscoll P.V., Ueta M., 2002. The migration route and behaviour of Eastern Curlews *Numenius madagascariensis* // *Ibis*. 144. P.119–130.
- Egevang C., Stenhouse I.J., Phillips R.A., Petersen A., Fox J.W., Silk J.R.D., 2010. Tracking of Arctic terns *Sterna paradisaea* reveals longest animal migration // *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* V. 105. № 5. P. 2078–2081.
- Esler D., Mulcahy D.M., Jarvis R.L., 2000. Testing assumptions for unbiased estimation of survival of radiomarked Harlequin Ducks // *J. Wildlife Manag.* V. 64. P. 591–598.
- Falk K., Møller S., 1995. Satellite tracking of high-arctic northern fulmars // *Polar Biol.* V. 15. P. 495–502.
- Fox A.D., Glauder C.M., Walsh A.J., 2003. Spring migration routes and timing of Greenland white-fronted geese – results from satellite telemetry // *Oikos*. V. 103. P. 415–425.
- Fransson T., Barboutis C., Mellroth R., Akriotis T., 2008. When and where to fuel before crossing the Sahara desert – extended stopover and migratory fuelling in first-year garden warblers *Sylvia borin* // *J. Avian Biol.* V. 39. № 1. P. 133–138.
- Fuller M.R., Millspaugh J.J., Church, K.E., Kenward R.E., 2005. *Wildlife radiotelemetry // Techniques for wildlife investigations and management.* U.S.A. Bethesda: Wildlife Society Press. P. 377–417.
- Fuller M.R., Seegar W.S., Howey P.W., 1995. The use of satellite telemetry systems for the study of bird migration // *Isr. J. Zool.* V. 41. P. 243–252.
- Fuller M.R., Seegar W.S., Schueck L.S., 1998. Routes and travel rates of migrating Peregrine Falcons *Falco peregrinus* and Swainson's Hawks *Buteo swainsoni* in the Western Hemisphere // *J. Avian Biol.* V. 29. P. 433–440.
- Gaidet N., Cappelle J., Takekawa J.Y., Prosser D.J., Iverson S.A., et al., 2010. Potential spread of highly pathogenic avian influenza H5N1 by wildfowl: dispersal ranges and rates determined from large-scale satellite telemetry // *J. Applied Ecology*. V. 47. № 5. P. 1147–1157.
- Galarza A., Dennis R.H., 2009. A spring stopover of a migratory osprey (*Pandion haliaetus*) in northern Spain as revealed by satellite tracking: implications for conservation // *Animal Biodiversity and Conservation*. V. 32. № 2. P. 117–122.
- García-Ripollés C., López-López P., Urios V., 2010. First description of migration and wintering of adult Egyptian Vultures *Neophron percnopterus* tracked by GPS satellite telemetry // *Bird Study*. V. 57. № 2. P. 261–265.
- Gill R.E., Piersma T., Hufford G., Servranck R., Riegen A., 2005. Crossing the ultimate ecological barrier: evidence for an 11000-km-long nonstop flight from Alaska to New Zealand and eastern Australia by bar-tailed godwits // *Condor*. V. 107. P. 1–20.
- Gill R.E., Tibbitts T.L., Douglas D.C., Handell C.M., Mulcahy D.M. et al., 2008. Extreme endurance flights by landbirds crossing the Pacific Ocean: ecological corridor rather than barrier? // *Proc. R. Soc. B.* V. 276. P. 447–457.
- Glahder C.M., Fox A.D., Hübner C.E., Madsen J., Tombe I.M., 2006. Pre-nesting site use of satellite transmitter tagged Svalbard Pink-footed Geese *Anser brachyrhynchus* // *Ardea* V. 94. № 3. P. 679–690.
- Glahder C.M., Fox A.D., Walsh A.J., 2002. Spring staging areas White-fronted Geese in West Greenland; results from aerial survey and satellite telemetry // *Wildfowl*. V. 53. P. 35–52.
- Godfrey A., Marshall W.U., 1969. Brood break-up and dispersal of ruffed grouse // *J. Wildlife Manag.* V. 33. № 3. P. 609–620.
- Green M., Alerstam T., Clausen P., Drent R., Ebbinge B.S., 2002. Dark-bellied Brent Geese, as recorded by satellite telemetry, do not minimize flight distance during spring migration // *Ibis*. V. 144. P. 106–121.
- Green M., Piersma T., Jukema J., de Goeij P., Spaans B., van Gils J., 2002. Radio-telemetry observations of the first 650 km of the migration of bar-tailed godwits *Limosa lapponica* from the Wadden Sea to the Russian Arctic // *Ardea*. V. 90. P. 71–80.
- Griesinger J., Berthold P., Querner U., Pedrocchi C., Nowak E., 1992. Satellite tracking of a young Griffon Vulture in the north of Spain // *Wildlife telemetry: remote monitoring and tracking of animals.* N.Y.: Ellis Horwood Ltd. P. 199–200.
- Grubb T.G., Bowerman W.W., Howey P.H., 1994. Tracking local and seasonal movements of wintering Bald Eagles *Haliaeetus leucocephalus* from Arizona and Michigan with satellite telemetry // *Raptor conservation today.* Berlin. Germany and East Sussex. U.K.: WWGBP and Pica Press. P. 347–358.
- Gschweng M., Kalko E.K.V., Querner U., Fiedler W., Berthold P., 2008. All across Africa: highly individual migration routes of Eleonora's falcon // *Proc. R. Soc. B.* 275. P. 2887–2896.
- Guan H.L., Higuchi H., 2000. Review on satellite tracking of migratory birds and its prospect // *Zool. Res.* V. 21. P. 412–415.
- Gudmundsson G.A., Benvenuti S., Alerstam T., Papi F., Liljendahl K., Åkesson S., 1995. Examining the limits of flight and orientation performance: satellite tracking of brent geese migrating across the Greenland ice-cap // *Proc. Roy. Soc. Lond. B.* 261. P. 73–79.

- Haines A.M., McGrady M.J., Martell M.S., Dayton B.J., Henke M.B., Seegar W.S., 2003. Migration routes and wintering locations of Broad-winged Hawks tracked by satellite telemetry // *Wilson Bul.* V. 115. P. 166–169.
- Hake M., Kjelle'n N., Alerstam T., 2001. Satellite tracking of Swedish Ospreys *Pandion haliaetus*: autumn migration routes and orientation // *J. Avian Biol.* V. 32. P. 47–56. – 2003. Age-dependent migration strategy in honey buzzards *Pernis apivorus* tracked by satellite // *Oikos.* V. 103. P. 385–396.
- Hamer K.C., Phillips R.A., Wanless S., Harris M.P., Wood A.G., 2000. Foraging ranges, diets and feeding locations of gannets in the North Sea: evidence from satellite telemetry // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* V. 200. P. 257–264.
- Harris J., Liying S., Higuchi H., Ueta M., Zhengwang Z. et al., 2000. Migratory stopover and wintering locations in eastern China used by White-naped Cranes *Grus vipio* and Hooded Cranes *G. monacha* as determined by satellite tracking // *Forktail.* V. 16. P. 93–99.
- Hart K.M., Hyrenbach K.D., 2009. Satellite telemetry of marine megavertebrates: the coming of age of an experimental science // *Endang. Spec. Res.* V. 10. P. 9–20.
- Hatch S.A., Meyers P.M., Mulcahy D.M., Douglas D.C., 2000. Performance of implantable satellite transmitters in diving seabirds // *Waterbirds.* V. 2. P. 84–94.
- Hedenström A., 2010. Extreme endurance migration: what is the limit to non-stop flight? // *PLoS Biol.* V. 8. № 5. (doi:10.1371/journal.pbio.1000362).
- Higuchi H., 2010. Bird migration and the conservation of the global environment // *Abstract 25 Intern. Ornithol. Congr. Campos do Jordão. Brazil.* P. 13.
- Higuchi H., Nagendran M., Darman Y., Tamura M., Andronov V. et al., 2000. Migration and habitat use of oriental white storks from satellite tracking studie // *Global Environ. Res.* V. 4. P. 169–182.
- Higuchi H., Nagendran M., Pierre J.P., 2006. Satellite-tracking the migration of cranes and storks // *Acta Zool. Sinica.* V. 52. P. 206–210.
- Higuchi H., Ozaki K., Fujita G., Minton J., Ueta M. et al., 1996. Satellite tracking of white-naped crane migration and the importance of the Korean Demilitarized Zone // *Conserv. Biol.* V. 10. P. 806–812.
- Higuchi H., Ozaki K., Fujita G., Soma M., Kanmuri N., Ueta M., 1992. Satellite tracking of the migration routes of cranes from southern Japan // *Strix.* V. 11. P. 1–20.
- Higuchi H., Pierre J.P., Krever V., Andronov V., Fujita G. et al., 2004. Using a remote technology in conservation: satellite tracking white-naped cranes in Russia and Asia // *Conserv. Biol.* V. 18. P. 136–147.
- Higuchi H., Sato F., Matsui S., Soma M., Kanmuri N., 1991. Satellite tracking of the migration routes of whistling swans *Cygnus columbianus* // *J. Yamashina Inst. Ornithol.* V. 23. P. 6–12.
- Higuchi H., Shibaev Y., Minton J., Ozaki K., Surmach S. et al., 1998. Satellite tracking of the migration of the red-crowned crane *Grus japonensis* // *Ecol. Res.* V. 13. P. 273–282.
- Higuchi H., Shiu H.-J., Nakamura H., Uematsu A., Kuno K., et al., 2005. Migration of Honey-buzzards *Pernis apivorus* based on satellite tracking // *Orn. Sci.* V. 4. P. 109–115.
- Hyrenbach K.D., Dotson R.S., 2001. Post-breeding movements of a male Black-footed Albatross *Phoebastria nigripes* // *Mar. Ornithol.* V. 29. V. 7–10.
- Iverson G.C., Warnock S.E., Butler R.W., Bishop M.-A., Warnock N., 1996. Spring migration of Western Sandpipers along the Pacific coast of North America: a telemetry study // *Condor.* V. 98. P. 10–21.
- James H., Liying S., Higuchi H., Ueta M., Zhang Z., Zhang Y., Ni X., 2000. Migratory stopover and wintering locations in eastern China used by white-naped cranes *Grus vipio* and hooded cranes *G. monacha*, as determined by satellite tracking // *Forktail.* V. 16. P. 93–99.
- Javed S., Higuchi H., Nagendran M., Takekawa J.Y., 2003. Satellite telemetry and wildlife studies in India: Advantages, options and challenges // *Curr. Sci.* V. 85. № 10. P. 1439–1443.
- Javed S., Khan Sh.B., Mansouri R.A., Hosani E.A., 2006. Satellite tracking of Greater Flamingos *Phoenicopterus roseus* from the United Arab Emirates // *Tribulus.* V. 16. P. 16–17.
- Javed S., Takekawa J.Y., Douglas D.C., Rahmani A.R., Kanai Y. et al. 2000. Tracking the spring migration of a bar-headed goose (*Anser indicus*) across the Himalaya with satellite telemetry // *Global Environ. Research.* V. 4. P. 195–205.
- Jiguet F., Villarubias S., 2004. Satellite tracking of breeding black storks *Ciconia nigra*: new incomes for spatial conservation issues // *Biol. Conserv.* V. 120. P. 157–164.
- Johnson O.W., Warnock N., Bishop M.A., Bennet A.J., Johnson P.M., Kienholz R.J., 1997. Migration by radio-tagged Pacific Golden-Plovers from Hawaii to Alaska, and their subsequent survival // *Auk.* V. 114. P. 521–524.
- Jouventin P., Weimerskirch H., 1990. Satellite tracking of wandering albatrosses // *Nature.* V. 343. P. 746–776.
- Judas J., Combreau O., Lawrence M., Saleh M., Launay F., Xingy G., 2006. Migration and range use of Asian Houbara Bustard *Chlamydotis macqueenii* breeding in the Gobi desert, China, revealed by satellite tracking // *Ibis.* V. 148. P. 343–351.
- Kaatz C., 2004. Mit Prinzeßchen unterwegs. B 2. Auflage. S. 1–165.
- Kanai Y., Kondoh A., Higuchi H., 1994. Analysis of crane habitat using satellite images // *Proc. Intern. Symp. The Future of Cranes and Wetlands.* Tokyo: Wild Bird Society of Japan. P. 72–85.
- Kanai Y., Sato F., Ueta M., Minton J., Higuchi H. et al., 1997. The migration routes and important rest sites of Whooper Swans satellite-tracked from Northern Japan // *Strix.* V. 15. P. 1–13.
- Kanai Y., Minton J., Nagendran N., Ueta M., Auysana B. et al., 2000. Migration of demoiselle cranes in Asia based on satellite tracking and fieldwork // *Global Environ. Res.* V. 4. P. 143–153.
- Kanai Y., Ueta M., Germogenov N., Nagendran M., Higuchi H., Mita N., 2002. Migration routes and important resting areas of Siberian cranes (*Grus leucogeranus*) that migrate from northeastern Siberia and China as revealed by satellite tracking // *Biol. Conserv.* V. 106. P. 339–346.

- Keating K.A., Brewster W.G., Key C.H., 1991. Satellite telemetry: performance of animal-tracking systems // J. Wildlife Management. V. 55. P. 160–171.
- Kenow K.P., Meyer M.W., Evers D.C., Douglas D.C., Hines J.E., 2002. Use of satellite telemetry to identify Common Loon migration routes, staging areas and wintering range // Waterbirds. V. 25. P. 449–458.
- Kenward R.E., 2001. A manual for wildlife radio tagging. L.: Academic Press. P. 1–222.
- Kjellén N., 1997. Importance of a bird migration hot spot: proportion of the Swedish population of various raptors observed on autumn migration at Falsterbo 1986–1995 and population changes reflected by the migration counts // Ornithologica. V. 7. P. 21–34.
- Kjellén N., Hake M., Alerstam T., 1997. Strategies of two Ospreys *Pandion haliaetus* migrating between Sweden and tropical Africa as revealed by satellite tracking // J. Avian Biol. V. 28. P. 15–23.
- Kjellén N., Hake M., Alerstam T., 1997. Strategies of two Ospreys *Pandion haliaetus* migrating between Sweden and tropical Africa as revealed by satellite tracking // J. Avian Biol. V. 28. P. 15–23. — 2001. Timing and speed of migration in male, female and juvenile Ospreys *Pandion haliaetus* between Sweden and Africa as revealed by field observations, radar and satellite tracking // J. Avian Biol. V. 32. P. 57–67.
- Kosarev V., Sokolov L.V., 2007. Homing in Pied Flycatchers (*Ficedula hypoleuca*) studied by radio telemetry // VI Conference of the Europ. Ornithol. Union. Vienna. P. 49–50. — 2007a. Weather influences the beginning of spring migration of White storks (*Ciconia ciconia*) in Africa: several years of satellite telemetry // Bird Migration and Global Change Conference. Algeciras. Spain. Fundacion Migres. P. 23.
- Kralovec M.I., 1994. Movements and home range size of bald eagles from Glacier Bay National Park and Preserve, Alaska: With an analysis of satellite Telemetry. M. S. thesis Virginia Polytech. Inst. and St. Univ. Blacksburg. S. 1–167.
- Kristensen M.W., 2010. Migration patterns of the Eurasian Cuckoo *Cuculus canorus* studied by satellite telemetry // Abstract 25 Intern. Ornithol. Congr. Campos do Jordão. Brazil. P. 653.
- Ktitorov P., Tsvey A., Mukhin A., 2010. The good and the bad stopover: behaviours of migrant reed warblers at two contrasting sites // Behav. Ecol. Sociobiol. V. 65. №7. P. 1135–1143.
- Lance A.N., 1970. Movements of blue grouse on the summer range // Condor. V. 72. № 4. P. 437–444.
- Limiñana R., Soutullo A., Urios V., 2007. Autumn migration of Montagu's harriers *Circus pygargus* tracked by satellite telemetry // J. Ornithol. V. 148. P. 517–523.
- Lo'pez-Lo'pez P., Limiñana R., Urios V., 2009. Autumn migration of Eleonora's falcon *Falco eleonora* tracked by satellite telemetry // Zool. Studies. V. 48. № 4. P. 485–491.
- Lo'pez-Lo'pez P., Limiñana R., Mellone U., Urios V., 2010. From the Mediterranean Sea to Madagascar: Are there ecological barriers for the long-distance migrant Eleonora's falcon? Landscape Ecol. V. 25. P. 803–813.
- Lorentsen S.-H., Øien I.J., Aarvak T., 1998. Migration of Fennoscandian Lesser Whitefronted Goose *Anser erythropus* mapped by satellite telemetry // Biol. Conserv. V. 84. P. 47–52.
- Martell M.S., Henny C.J., Nye P.E., Solensky M.J., 2001. Fall migration routes, timing, and wintering sites of North American Ospreys as determined by satellite telemetry // Condor. V. 103. P. 715–724.
- McGrady M.J., Ueta M., Potapov E., Utekhina I., Masterov V. et al., 2003. Movements by juvenile and immature Steller's sea eagles *Haliaeetus pelagicus* tracked by satellite // Ibis. V. 145. P. 318–328.
- Meyburg B.-U., Eichaker X., Meyburg C., Paillat, P., 1995. Migrations of an adult Spotted Eagle tracked by satellite // British Birds. V. 88. P. 357–361.
- Meyburg B.-U., Matthes J., Meyburg C., 2002. Satellite-tracked Lesser Spotted Eagle avoids crossing water at the Gulf of Suez // British Birds. V. 95. P. 372–376.
- Meyburg B.-U., Fuller M.R., 2007. Satellite Telemetry // Raptor Research and Management Techniques. Blaine. Canada: Hancock House. P. 242–248.
- Meyburg B.-U., Lobkov E.G., 1994. Satellite tracking of a juvenile Steller's Sea Eagle *Haliaeetus pelagicus* // Ibis. V. 136. P. 105–106.
- Meyburg B.-U., Meyburg C., 1998. The study of raptor migration in the Old World using satellite telemetry // Proc. 22 Intern. Ornithol. Congr. Durban. Ostrich. V. 69. P. 151.
- Meyburg B.-U., Meyburg C., Barbraud J.-C., 1998. Migration strategies of an adult Short-toed *Circaetus gallicus* tracked by satellite // Alauda. V. 66. P. 39–48.
- Meyburg B.-U., Meyburg C., Matthes J., Matthes H., 2006. GPS satellite tracking of Lesser Spotted Eagles (*Aquila pomarina*): home range and territorial behaviour in the breeding area // Vogelwelt. V. 127. P. 127–144.
- Meyburg B.-U., Meyburg C., Mizera T., Maciorowski G., Kowalski J., 2005. Family break up, departure, and autumn migration in Europe of a Family of greater Spotted Eagles (*Aquila clanga*) as reported by satellite telemetry // J. Raptor Res. V. 39. № 4. P. 462–466.
- Meyburg B.-U., Paillat P., Meyburg C., 2003. Migration routes of Steppe Eagles between Asia and Africa: a study by means of satellite telemetry // Condor. V. 105. P. 219–227.
- Meyburg B.-U., Scheller W., Meyburg C., 2000. Migration and wintering of the lesser spotted eagle *Aquila pomarina*: A study by means of satellite telemetry // Global Environ. Res. V. 4. P. 183–193.
- Miller M.R., Takekawa J.Y., Fleskes J.P., Orthmeyer D.L., Casazza M.L. et al., 2005. Flight speeds of northern pintails during migration determined by satellite telemetry // Wilson Bull. V. 117. № 4. P. 364–374.
- Moore F.R., Aborn D.A., 1996. Time of departure by Summer Tanager (*Piranga rubra*) from a stopover site following spring trans-Gulf migration // Auk. V. 113. № 4. P. 949–952.
- Morimoto Y., Natuhara Y., Morimura A., Horikawa M., 2005. The pelican scenario for nature restoration of Aral Sea wetland ecosystems // Landsc. and Ecol. Engineer. V. 1. P. 85.
- Mosbech A., Danø R.S., Merkel F., Sonne Ch., Gilchrist G., Flagstad A., 2006. Use of satellite telemetry to locate key habitats for King Eiders *Somateria spectabilis* in

- West Greenland // *Waterbirds around the world*. Edinburgh. U.K.: The Stationary Office. P. 769–776.
- Mouritsen H., Huyvaert K.P., Frost B.J., Anderson D.J., 2003. Waved albatrosses can navigate with strong magnets attached to their head // *J. Exp. Biol.* V. 206. P. 4155–4166.
- Mukhin A., Kosarev V., Ktiitov P., 2005. Nocturnal life of young songbirds well before migration // *Proc. R. Soc. Lond. B.* 272. P. 1535–1539.
- Mukhin A., Grinkevich V., Helm B., 2009. Under cover of darkness: nocturnal life of diurnal birds // *J. Biol. Rhythms.* V. 24. № 3. P. 225–231.
- Murray D.L., 2006. On improving telemetry-based survival estimation // *J. Wildlife Manag.* V. 70. P. 1530–1543.
- Naef-Daenzer B., 1993. A new transmitter for small animals and enhanced methods of home range analysis // *J. Wildlife. Management.* V. 57. № 4. P. 680–689.
- Nicholls D.G., Murray M.D., Elliott G.P., Walker K.J., 1996. Satellite tracking of a Wandering Albatross from the Antipodes Islands, New Zealand, to South America // *Corella.* V. 20. P. 28.
- Olival K.J., Higuchi H., 2006. Monitoring the long-distance movement of wildlife in Asia using satellite telemetry // *Conservation Biology in Asia*. Society for Conservation Biology Asia Section and Resources Himalaya, Kathmandu. Nepal. P. 319–339.
- Oppel S., Powell A.N., 2010. Age-specific survival estimates of King Eiders derived from satellite telemetry // *Condor.* V. 112. P. 323–330.
- Pearce J.M., Petersen M.R., 2009. Post-fledging movements of juvenile Common Mergansers (*Mergus merganser*) in Alaska as inferred by satellite telemetry // *Waterbirds.* V. 32. P. 133–137.
- Pennycook C.J., Battley P.F., 2003. Burning the engine: a time-marching computation of fat and protein consumption in a 5420 km non-stop flight by great knots *Calidris tenuirostris* // *Oikos.* V. 103. P. 323–332.
- Pennycook C.J., Einarsson O., Bradbury T.A.M., Owen M., 1996. Migrating Whooper Swans *Cygnus cygnus*: satellite tracks and flight performance calculations // *J. Avian Biol.* V. 27. P. 118–134.
- Petersen M.R., Bustnes J.O., Systad G.H., 2006. Breeding and moulting locations and migration patterns of the Atlantic population of Steller's Eiders *Polysticta stelleri* as determined from satellite telemetry // *J. Avian Biol.* V. 37. P. 58–68.
- Petersen M.R., Larned W.W., Douglas D.C., 1999. At-sea distribution of Spectacled Eiders: A 120-year-old mystery resolved // *Auk.* V. 116. № 4. P. 1009–1020.
- Prosser D.J., Takekawa J.Y., Newman S.H., Yan B., Douglas D.C. et al., 2009. Satellite-marked waterfowl reveal migratory connection between H5N1 outbreak areas in China and Mongolia // *Ibis.* V. 151. P. 568–576.
- Pütz K., Helbig A.J., Pedersen K.T., Rahbek C., Saurola P., Juvaste R., 2008. From fledging to breeding: long-term satellite tracking of the migratory behaviour of a Lesser Black-backed Gull *Larus fuscus intermedius* // *Ring and Migration.* V. 24. P. 7–10.
- Pütz K., Rahbek C., Saurola P., Pedersen K.T., Juvaste R., Helbig A.J., 2007. Satellite tracking of the migratory pathways of first year Lesser Black-backed Gulls (*Larus fuscus*) departing from different subspecies' breeding grounds // *Vogelwelt.* V. 128. P. 141–148.
- Rafanomezantsoa S., Watson R.T., Thorstrom R., 2002. Juvenile dispersal of Madagascar Fish-Eagles tracked by satellite telemetry // *J. Raptor Res.* V. 36. № 4. P. 309–314.
- Ristow D., Berthold P., Hashim D., Querner U., 2000. Satellite tracking of Cory's Shearwater migration // *Condor.* V. 102. P. 699–702.
- Sawby S.W., Gessamen J.A., 1974. Telemetry of electrocardiograms from free-living birds: A method of electrode placement // *Condor.* V. 76. P. 479–481.
- Seegar W., Fuller M.R., Howey P.W., Leshem Y., 1996. Satellite telemetry as a tool for tracking and monitoring birds movements from a local to global scale // *Bird Strike Comm. Europe.* London. P. 443–462.
- Shimazaki H., Tamura M., Higuchi H., 2004. Migration routes and important stopover sites of endangered oriental white storks (*Ciconia boyciana*) as revealed by satellite tracking // *Mem. Nat. Inst. Polar Res. Spec. Issue.* V. 58. P. 162–178.
- Snyder N.F.R., Beissinger S.R., Fuller M.R., 1989. Solar radio-transmitters on Snail Kites in Florida // *J. Field Ornithol.* V. 60. № 2. P. 171–177.
- Southern W.E., 1970. En route behavior of homing Herring Gulls as determined by radio-tracking // *Willson Bul.* V. 82. № 2. P. 189–200.
- Soutullo A., Urios V., Ferrer M., 2006. How far away in an hour daily movements of juvenile golden eagles (*Aquila chrysaetos*) tracked with satellite telemetry // *J. Ornithol.* V. 147. P. 69–72.
- Soutullo A., Urios V., Ferrer M., Peñarrubia S.G., 2006a. Dispersal of golden eagles *Aquila chrysaetos* during their first year of life // *Bird Study.* V. 53. P. 258–264.
- Stout W.E., Greene V.L., Postupalsky S., 2009. Migration routes, reproduction, and lifespan of a translocated Osprey // *Wilson J. Ornithol.* V. 121. № 1. P. 203–206.
- Strandberg R., Alerstam Th., Hake M., Kjellèn N., 2009. Short-distance migration of the Common Buzzard *Buteo buteo* recorded by satellite tracking // *Ibis.* V. 151. P. 200–206.
- Strandberg R., Klaassen R.H.G., Hake M., Alerstam Th., 2010. How hazardous is the Sahara Desert crossing for migratory birds? Indications from satellite tracking of raptors // *Biol. Lett.* V. 6. № 3. P. 297–300.
- Stresemann E., 1954. Zur Frage der Wanderungen des Eleonorenfalken // *Vogelwarte.* B. 17. S. 182–183.
- Strikwerda T.E., Fuller M.R., Seegar W.S., Howey P.W., Black H.D., 1986. Bird-borne satellite transmitter and location program // *Johns Hopkins APL Technical Digest.* V. 7. P. 203–208.
- Stutchbury B.J.M., Gow E., Done T., MacPherson M., Fox J.W., Afanasyev V., 2011. Effects of post-breeding moult and energetic condition on timing of songbird migration into the tropics // *Proc. R. Soc. B.* 278. P. 131–137.
- Stutchbury B.J.M., Tarof S.A., Done T., Gow E., Patrick M., Kramer P.M., 2009. Tracking long-distance songbird migration by using geolocators // *Science.* V. 323. P. 896.
- Tamura M., Higuchi H., Shimazaki H., Oguma H., Darman Y.A., 2001. Satellite observation of movements and habitat

- conditions of red-crowned cranes and oriental white storks in East Asia // *Global Environ. Res.* V. 4. P. 207–218.
- Therrien J.-F., Gauthier G., Bêty J., Mouland G., 2008. Long-distance migratory movements and habitat selection of Snowy Owls in Nunavut // Final report submitted to the Nunavut Wildlife Manag. Board. Canada. P. 1–45.
- Thorup K., Bisson I.-A., Bowlin M.S., Holland R.A., Wingfield J.C., 2007. Evidence for a navigational map stretching across the continental U.S. in a migratory songbird // *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* V. 104. P. 18115–18119.
- Trierweiler Ch., Koks B.J., Drent R.H., Exo K.-M., Komdeur J., 2007. Satellite tracking of two Montagu's Harriers (*Circus pygargus*): dual pathways during autumn migration // *J. Ornithol.* V. 148. P. 513–516.
- Tsvey A., Bulyuk V.N., Kosarev V., 2007. Influence of energy condition and weather on departures of first year European robins, *Erithacus rubecula*, from an autumn migratory stopover site // *Behav. Ecol. Sociobiol.* V. 61. №11. P. 1665–1674.
- Tyack A.J., Walls S.S., Kenward R.E., 1998. Behaviour in the post-nestling dependence period of radio-tagged Common Buzzards *Buteo buteo* // *Ibis.* V. 140. P. 58–63.
- Ueta M., Sato F., Lobkov E.G., Mita N., 1998. Migration routes of White-tailed Sea Eagles *Haliaeetus albicilla* in northeastern Asia // *Ibis.* V. 140. P. 684–686.
- Ueta M., Melville D.S., Wang Y., Ozaki K., Kanai Y., 2002. Discovery of the breeding sites and migration routes of Black-faced Spoonbills *Platalea minor* // *Ibis.* V. 144. P. 340–343.
- Walls S.S., Kenward R.E., 1994. The systematic study of radio-tagged raptors: II Sociality and dispersal // *Raptor conservation today.* Berlin. Germany and East Sussex. U.K.: WWGBP and Pica Press. P. 317–324. — 1995. Movements of radio-tagged Buzzards *Buteo buteo* in their first year // *Ibis.* V. 137. P. 177–182.
- Watts B.D., Truitt B.R., Smith F.M., Mojica E.K., Paxton B.J., Wilke A.L., Duerr A.E., 2008. Whimbrel tracked with satellite transmitter on migratory flight across North America // *Wader Study Group Bul.* V. 115. № 2. P. 119–121.
- Weimerskirch H., 1990. Albatross tracking in the Southern ocean // *Arcos Newsletter.* V. 40. P. 1–5.
- Weimerskirch H., Le Corre M., Marsac F., Barbraud Ch., Tostain O., Chastel O., 2006. Postbreeding movements of frigatebirds tracked with satellite telemetry // *Condor.* V. 108. P. 220–225.
- Weimerskirch H., Salamolard M., Sarrazin F., Jouventin P., 1993. Foraging strategy of wandering albatrosses through the breeding season: a study using satellite telemetry // *Auk.* V. 110. P. 325–342.
- Weimerskirch H., Wilson R.P., Guinet Ch., Koudil M., 1995. Use of seabirds to monitor sea-surface temperatures and to validate satellite remote-sensing measurements in the Southern Ocean // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* V. 126. P. 299–303.
- White G.C., Garrott R.A., 1990. Analysis of wildlife radio-tracking data. San Diego. California: Academic Press. P. 1–383.
- Whitworth D., Newman S.H., Mundkur T., Harris P., 2007. Radio telemetry and bird movements // *Wild Birds and Avian Influenza: an introduction to applied field research and disease sampling techniques.* FAO Animal Prod. and Health Manual. Roma. P. 95–111.
- Wikelski M., Kays R., Kasdin J., Thorup K., Smith J.A., Cochran W.W., Swenson G.W. Jr., 2007. Going wild: what a global small-animal tracking system could do for experimental biologists // *J. Exp. Biol.* V. 210. P. 181–186.
- Wilson R.P., Culik B.M., Bannasch R., Lage J., 1994. Monitoring Antarctic environmental variables using penguins // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* V. 106. P. 199–202.

MODERN TELEMETRY: NEW POSSIBILITIES IN ORNITHOLOGY

L. V. Sokolov

Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg 199034, Russia

e-mail: leonid-sokolov@mail.ru

Modern methods of telemetry of birds and results of some researches obtained using these methods are considered. The use of highly technological methods to observe bird movements significantly expands and in some cases, cardinally changes our ideas of the life of birds. After creation of various radio transmitters (from simple transmitters of local action to long-term working satellite transmitters) for birds, new possibilities for studies in many areas of ornithology have been opened.