

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ», №1 (5), 2014 г.

УДК 65 6.7.08:614.8.1 Л. А. Диневич [L. A. Dinevich]

Автор посвящает настоящую работу памяти одного из основоположников метеорологической радиолокации Вадима Вадимовича Костарева, которому в текущем году исполнилось бы 100 лет. Его новаторство и идеи воплотились в трудах многочисленных учеников, внесших неоценимый вклад в развитие радиолокации и её прикладного применения.

РАСПОЗНАВАНИЕ РАДИОЭХА ПТИЦ НА БАЗЕ РАДИОЛОКАТОРА МРЛ-5

Recognition radio echo birds on the basis of radar MRL-5

В статье описывается компьютеризированная радиолокационная орнитологическая система, созданная на базе метеорологической радиолокационной станции МРЛ-5, позволяющей в автоматизированном режиме проводить наблюдения за перелётами птиц в любое время суток. Возможность МРЛ-5 получать одновременно орнитологическую и метеорологическую информацию позволяет строить совмещённые радиолокационные карты состояния погоды с векторными полями птиц передавать их для оперативного использования службам управления воздушным движением. Предложенная система применяется в Израиле в исследовании миграционных процессов птиц и в обеспечении безопасности полётов самолётов в сложных орнитологических и метеорологических условиях.

Ключевые слова: радиолокационная орнитология, метеорологическая радиолокация, радиоэхо, птицы, миграция птиц, орнитология, безопасность полётов самолётов.

The article describes computerized radar ornithological system, created on the basis of weather radar MRL-5, allowing automatically to conduct monitoring of bird migration at any time of day. The possibility of MRL-5 to obtain simultaneously ornithological and meteorological information allows you to build a combined radar maps, weather conditions with vector fields birds pass them to the operational use of the services of air traffic control. The proposed system is applied in Israel in the study of birds migration processes and the safety of aircraft in ornithological complex and meteorological conditions.

Keywords: radar ornithology, meteorological radio location, radio echo, birds, migration of birds, ornithology, aircraft safety.

Введение и постановка задачи.

Развитие авиации, большие концентрации воздушных судов на отдельных, относительно небольших участках территорий, особенно в зонах крупных аэродромов, стремление к большим скоростям на максимально облегченных конструкциях летательных аппаратов привели к возникновению конфликта между ними и птицами [Ganja I., Zubkov M.,

Kotjazi M. 1991; Leshem Y., Y. Yom Tov, 1998]. Нередко такого рода столкновения приводят к тяжёлым катастрофам, результатами которых становятся не только гибель птиц, но и гибель пилотов. Всё это потребовало создания оперативных технических средств оценки и контроля орнитологической обстановки для обеспечения безопасности полётов самолётов.

Как показали [Dinevich L., Leshem I., Gal A., Garanin V., Kapitannikov A., 2000], большие возможности для создания таких средств заложены в специализированных метеорологических радиолокационных станциях типа МРЛ-5.

Основные характеристики радиолокатора МРЛ-5 даны в [Abshayev M., Burtsev I., Vaksenburg S., Shevela G., 1980]. Разные исследователи для орнитологических целей применяют радары, работающие на различных длинах волн. Так [Bruderer B, 1992], считает, что идеальным для наблюдения за птицами является радар с длиной волны 5 см. По его мнению, использование радаров с более длинными волнами уменьшает вероятность обнаружения мелких птиц, в то время как более короткие волны увеличивают способность обнаружения мелких целей, в том числе насекомых. При этом возникает проблема селекции сигналов от птиц на фоне сигналов от насекомых. По данным [Houghton, 1964; Richardson, Stacey, Kohler; Naka, 1958; Chernikov, 1979; Dinevich, Leshem, Sikora, 2001] оптимальной, для наблюдения за птицами, принята длина волны 10 см.

В данной работе представлены два, разработанных в Тель Авивском университете, метода и алгоритма селекции радиоэха птиц на фоне других отражателей (в том числе, подстилающей поверхности, облаков, осадков, летательных объектов и атмосферных неоднородностей). В работе [Dinevich, L., Kaplan, L., 2000] авторы показали, что для селекции радиоэха одиночных птиц можно пользоваться уровнем радиолокации для одиночных целей

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} K_1 K_2, \quad (1)$$

где σ – поперечное сечение обратного рассеяния птицы.

$K_1 = 10^{-0,1\zeta}$; ζ -суммарное затухание, вносимое волноводно – фидерным трактом в режиме приёма и передачи, в децибелах;

K_2 – коэффициент, учитывающий ослабление радиоволн на пути до цели и обратно;

R – расстояние до птицы. Остальные параметры – постоянные характеристики радиолокатора. Как видим, здесь P_r мощность отражённого от одиночной цели (одиночной птицы) сигнала обратно пропорциональна четвёртой степени расстояния.

При попадании в радиолокационный объём стаи птиц уровень радиолокации приобретает следующий вид

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} K_1 K_2, \quad (2)$$

где γ – угол места, под которым видна цель.

Для первого канала МРЛ-5 $\lambda = 3,2$ см, $\theta = 0,5^\circ = 0,009$, $G = 1,2 \times 10^5$, $\tau = 10^{-6}$ мкс, $P_t = 2,5 \times 10^5$, $k = 0,3$ (-5дб), $(\sigma = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2)$, эффективная площадь рассеяния для стаи воробьев, летящих на средней дистанции друг от друга 30 м ($S_b = 700 \text{ м}^2$).

Здесь уже мощность отражённого от группы птиц сигнала P_r обратно пропорциональна третьей степени расстояния. Выполненный нами расчёт мощности принимаемого МРЛ-5 сигнала для выше приведенного примера показал следующее:

$$P_r = 5 \times 10^{-11} \text{ вт},$$

что более чем на три порядка превосходит пороговую чувствительность приемника $2,5 \cdot 10^{-14} \text{ вт}$, (-136 дВ/вт).

Как следует из этого примера, мощность принятого сигнала не является фактором, ограничивающим дальность при радиолокации птиц.

Следует заметить, что ночные птицы летят, как правило, в большом диапазоне высот и с большой концентрацией в радиолокационном объёме. В этом случае мощность принятого от некоторой объёмной (пространственной) группы птиц аналогична мощности сигналов от облаков и, соответственно, обратно пропорциональна квадрату расстояния.

Отражательная способность птицы определяется диэлектрическими свойствами, формой и размерами её тела [Ganja I., Zubkov M., Kotjazi M., 1991]. Она также зависит от длины падающей волны и её поляризации.

По расчётам приведенным [Schaefer, 1967] – 83 % массы птицы составляют ткани с высоким содержанием воды и только 17 % жировые ткани, кости и т. д.

Из процентного состава составляющих тело птицы веществ, Schaefer пришёл к следующему выводу: оперение птиц даёт наименьший вклад в отражённую волну ($< 2\%$), отражение от конечностей (крыльев и ног) составляет также его незначительную часть (2 и 3 % соответственно). Таким образом, эхосигналы от птиц в основном определяются отражением от сфероподобного тела (туловища) (71 %), мышечного основания крыла (11 %), головы (6 %) и шеи (5 %).

Какой стандартной формой тела можно аппроксимировать тело птицы, как рассчитать коэффициент отражения электромагнитной волны, если все составляющие её тела (перья, кости, кровь, мышцы и т. д.) имеют различные значения диэлектрической проницаемости?

Как показали [Хайкин, Кеслер, Карпи, 1979; Schaefer, 1968], с определённой степенью приближения эта задача решается. Так [Schaefer, 1968], предложил аппроксимировать форму тела птицы вытянутым сфероидом. Тогда проекцию сфероида на плоскость перпендикулярную падающей от радиолокатора электромагнитной энергии можно аппроксимировать вытянутым эллипсоидом вращения с большой осью b и малой осью a . На основании экспериментальных данных [Хайкин, Кеслер, Карпи, 1979] можно принять величину b равной $b = 0,72 \sqrt[3]{P}$, где b – расстояние между передней частью грудной клетки и задней частью брюшной полости, а значение $a = b/2$. Здесь P – масса птицы в граммах. Коэффициент отражения электромагнитной энергии R , на основании проведенных экспериментов [Schaefer, 1968] предложил принять равным 0,6.

Таким образом, величина ЭПР $\sigma = R\pi b^4/a^2$ или $\sigma \approx 0,11 \pi b^2$. Таким образом, измерив радиолокатором ЭПР одиночной птицы, можно определить её характерные размеры. Величина ЭПР одной и той же птицы может меняться на фактор 10, в зависимости от её ориентации относительно направления на радар [Houghton, 1964; Eastwood, 1967; Bruderer and Joss, 1969]. По данным [В. Завируха, В. Саричев, В. Степаненко, Ю. Щепкин, 1977], выполнявшим измерения ЭПР птиц под различными углами относительно диаграммы излучателя в безэховой камере, максимум эхо-сигнала находился между 65 и 115 градусами относительно направления облучения, что соответствует боковой поверхности птицы (0° соответствует направлению диаграммы излучателя на клюв птицы). Кроме того, вариация

ции ЭПР могут вызываться взмахами крыльев птицы. В этих случаях значение ЭПР увеличивается в 10 раз относительно среднего или уменьшается почти до нуля. Частота таких колебаний составляет 2–24 Гц [Chernikov, 1979]. Таким образом, ЭПР птицы зависит от ее размеров, ориентации по отношению к направлению на радар и от мгновенного положения движущихся крыльев. Близкие к этим характеристикам флюктуации радиоэха птиц получены и в наших экспериментах.

С учётом приведенных характеристик ЭПР птиц был разработан первый алгоритм селекции их радиоэха в режиме непрерывного вращения антенны. Подробное изложение этого алгоритма в [Dinevich L., Leshem Y., Pinsky M., Sterkin A., 2004].

Режимы измерений и система обработки

отражённых сигналов. Анализ сигналов, отражённых от птиц, построен на базе компьютеризированной системы обработки информации о кучево-дождевых облаках [Abshayev M., Kaplan L., Kapitannikov A., 1984]. Оцифрованные сигналы вводятся в компьютер и далее подвергаются ограничению и фильтрации. Для увеличения отношения «сигнал/шум» производится суммирование сигналов, получаемых от нескольких зондирующих импульсов (обычно 16 импульсов). При этом, периодически производятся калибровка сигналов с использованием расчётных значений постоянной радиолокатора и измерение уровня шума приемников. Эта дополнительная информация, наряду с другими признаками, используется для селекции сигналов, отраженных от птиц на фоне сигналов от других отражающих объектов. Для более эффективной работы комплекса сбор информации производится чаще, чем это требуется согласно разрешающей способности радара по дальности. При этом каждая птица в координатах «дальность-угол» представляется не в виде точки, а в виде пятна. Разрешающие параметры радара и системы регистрации представлены в табл. 1.

Для получения информации о количестве и координатах птиц выполняются круговые обзоры антенны с изменением её угла места от 0° до n° , где n может изменяться в зависимости от фактической высоты полёта птиц. Обычно n равно $7-10^\circ$. Подъём антенны осуществляется автоматически с шагом, равным диаграмме направленности, т. е. через $0,5$ градуса при длине волны $3,2$ см и $1,5$ – при длине волны 10 см. При этом, на одном из фиксированных углов места антенны выполняются 8 обзоров (количество обзоров на каждом угле установлено экспериментально) (табл. 2).

Табл. 1. РАЗРЕШАЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ РАДАРА
И СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ

	Радар	Регистрация
Разрешение по азимуту	0,5 градусов	0,176 градусов
Разрешение по дальности	150 метров	60 метров

При меньшем, чем 8, числе обзоров на каждом фиксированном угле, часть полезной информации не удаётся проявить. Хотя время расчётов снижается на 10–20 %. Большее, чем 8, число обзоров не существенно увеличивает информативность данных, но при этом существенно увеличивает время расчётов (на 10–50 %).

На основе этих рассуждений выполняется первый этап селекции сигналов от птиц в каждой координатной точке каждого обзора.

Метод и алгоритм обнаружения птиц и измерения скоростей их движения (вариант первый).

А. Основная идея. Исходными данными для этих измерений являются поля радиолокационной отражаемости, получаемые при последовательных азимутальных обзорах, которые производятся при фиксированном угле места антенны. Число обзоров 8. Сигнал, отражённый птицей, изменяет свое местоположение из-за движения птицы. На последовательных обзорах координаты центра этого сигнала ложатся на прямую линию, если птица движется без существенного изменения направления полёта в течение всего периода измерения. Эта особенность позволяет выделить движущийся сигнал на фоне неподвижных сигналов от других объектов (подстилающая поверхность, облака, осадки, и т.д.). Вместе с тем, информация о движении сигнала может использоваться для оценивания вектора скорости каждой птицы.

На рисунке 1 изображено поле радиолокационной отражаемости, полученное путем суммирования сигналов девяти последовательных ази-

Табл. 2. ОБЪЁМ ПОЛЕЗНОЙ ИНФОРМАЦИИ (КОЛИЧЕСТВО ВЕКТОРОВ) И ВРЕМЯ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ЕЁ ПОЛУЧЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ЧИСЛЕ ОБЗОРОВ НА ФИКСИРОВАННОМ УГЛЕ (составлена на базе 10 циклов измерения)^{1*}

Количество обзоров на фиксированном угле	Количество векторов (%)	Время расчёта (%)
8	100 (усл. принято)	100 (усл. принято)
7	70–90	80–90
9	110	120
10	110	150

мутальных обзоров. Для анализа на нём в качестве экспериментального, выбрана область А.

Видно, что поле имеет линейчатую структуру, в которой каждой линии соответствует отдельная птица или группа птиц. Толщина линий определяется разрешающей способностью радиолокатора по дальности и по азимуту и параметрами системы регистрации. Длины отрезков пропорциональны скоростям движения птиц, а направления линий совпадают с направлениями их движений.

На рисунке также видно наличие сигналов от других объектов и шумы, которые практически покрывают все исследуемое пространство. Это делает задачу идентификации птиц и измерения их скоростей достаточно сложной и требует привлечения дополнительных признаков.

Б. Алгоритм. Алгоритм включает в себя три основных стадии:

- анализ мощности принимаемых сигналов и селекция по их уровню;
- оконтуривание площади, занимаемой сигналом от летящей птицы (группы птиц), и отделение каждой птицы (группы птиц) от других отражающих объектов;
- вычисление вектора скорости для каждой птицы (группы птиц) и селекция по критерию коэффициента корре-

^{1*} Объём полезной информации (количества векторов) и необходимое для расчёта время при 8 обзорах приняты за 100% .

ляции. Последние две стадии повторяются многократно при различных порогах построения контуров. Это повторение позволяет одинаково эффективно выделять птиц, как на участках пространства с разреженными сигналами (малое количество отражающих объектов), так и на участках плотного заполнения пространства (большое количество отражающих объектов).

Анализ мощности. Экспериментальные оценки показывают, что в радиусе обзора до 40 км в ночное время мощность сигнала, отраженного от большинства птиц, не превышает 20 дБ, а для дневных птиц, в радиусе обзора до 100 км – 30 дБ. Анализ мощности сигнала включает в себя следующие действия.

1. Вычисление мощности сигнала согласно калибровочной кривой.
2. Вычисление поправки (при большой концентрации ночных птиц) на квадрат расстояния – R^2 (для дневных птиц – R^3). На этой стадии сигнал делогарифмируется и далее его мощность корректируется согласно следующей формуле

$$S(R) = S^*(R) \times (R/R_0)^2 - S_N \quad (3)$$

где $S(R)$ – вычисляемая мощность сигнала,

$S^*(R)$ – мощность сигнала принятого с расстояния R от радара,
 $R_0 = 10$ км,

$S_N = 5$ дБ – средняя мощность шума радара.

Формула (3) учитывает уменьшение мощности сигнала, связанное с увеличением расстояния до птицы, а также учитывает независимость мощности шумов локатора от этого расстояния.

3. Отсечение сигнала по порогам. При этом считается, что ниже 5 дБ сигнал является шумом локатора, выше 20 dBZ ночью и 30 dBZ днём сигнал принимается от посторонних отражателей (местные предметы, облака, осадки, и т. д.). На рис. 1 (а) представлено суммарное поле отражаемос-

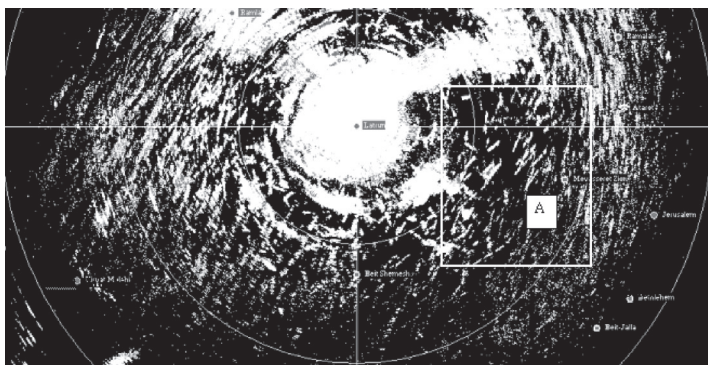


Рис. 1. Поле радиолокационной отражаемости, полученное путем суммирования сигналов девяти последовательных азимутальных обзоров. Для анализа на нём в качестве экспериментального выбрана область А.

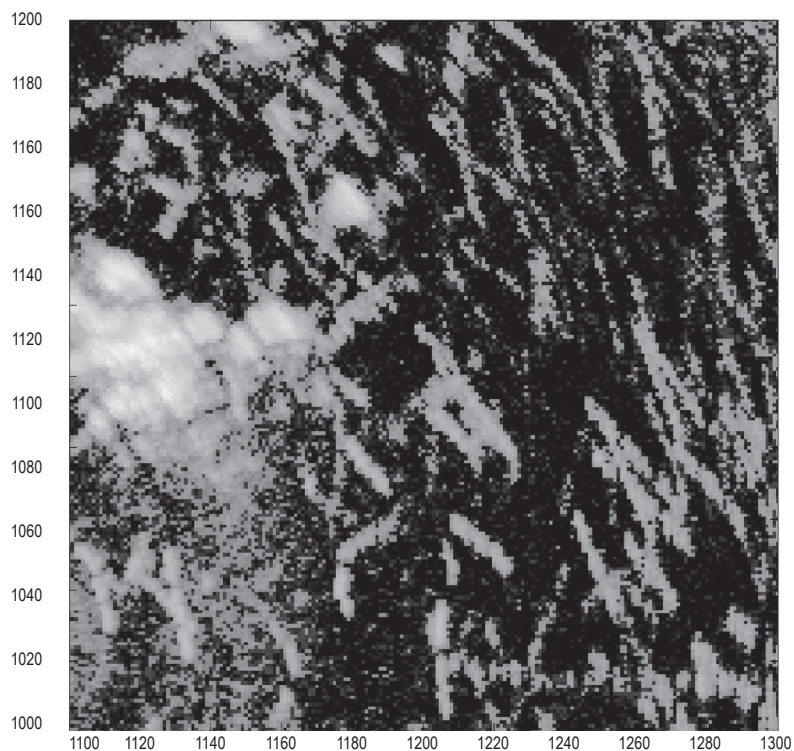


Рис. 1(а). Суммарное поле отражаемости после селекции по мощности для той же самой площади, что и на рисунке 1 (область А). Цифры – условные координаты пространства.

ти после селекции по мощности для той же самой площади, что и на рис. 1 (область А). Сравнение рис. 1 (область А) и 1 (а) показывает, что в результате ограничения сигналов по мощности, области, занимаемые птицами, проявляются гораздо чётче. При этом, не происходит потери сигналов от отдельных птиц (групп птиц). Вместе с тем, этот рисунок показывает, что селекция по критерию мощности не достаточна. Треки от птиц продолжают пересекаться и соприкасаться. Остается также некоторая доля сигналов от посторонних объектов.

Построение контуров вокруг площади, занимаемой сигналом от птиц. Для оконтуривания площадей, занимаемых отдельными птицами (группами птиц), которые видны как полосы на рис. 1 (а), используются процедуры из пакета обработки изображений MATLAB. Алгоритм включает в себя следующие процедуры [подробнее см. 6].

- построение скелета по заданному уровню отражаемости *bwselect*. В результате работы этой процедуры создается двоичное изображение поля суммарного сигнала. Большинство областей этого изображения являются замкнутыми;
- устранение отдельно расположенных точек и незамкнутых линий построенного скелета *bwmorph*. В результате работы этой процедуры на двоичном изображении остаются только замкнутые области. После селекции каждая такая область соответствует отдельной птице (группе птиц, летящих вместе);
- маркировка точек выделенных областей на исходной карте, а также нумерация областей и расчет их количества *bwlabel*.

Вид и количество выделяемых областей существенным образом зависит от выбранного порога отражаемости. При уменьшении порога в пространстве, содержащем небольшое число птиц, происходит полное разделение областей, занятых отдельными птицами (группами птиц). В то же время некоторые области, занятые единственной птицей, также делятся на части, что приводит к нарушению работы алгоритма. Для устранения возникающего противоречия процедура оконтуривания

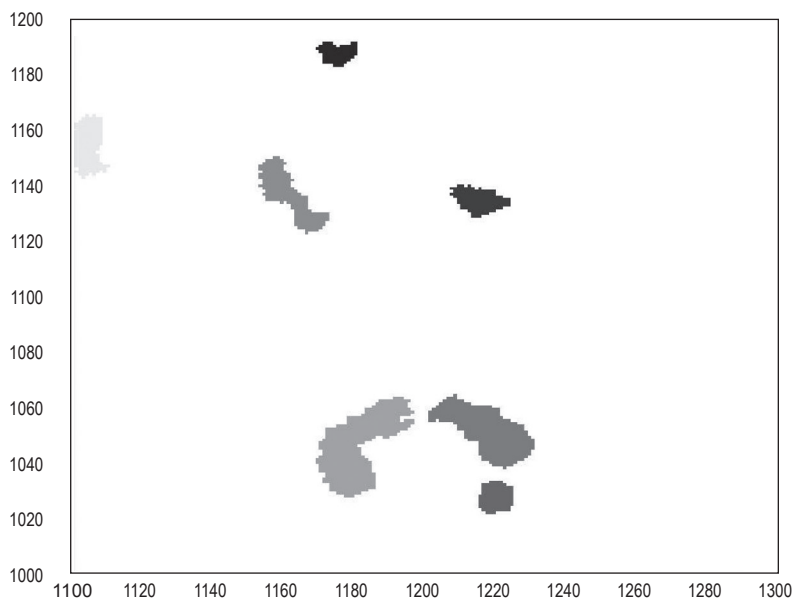


Рис. 2 (а). Картина выделенных контуров, соответствующим отдельным птицам (группам птиц) на первом цикле работы алгоритма (выделено 7 областей). Цифры – условные координаты пространства.

производится многократно. При этом на каждом шаге – цикле алгоритма – порог уменьшается, контуры, идентифицированные, как одна единственная птица, запоминаются, а информация, содержащаяся в них, исключается из дальнейших расчетов.

Для оптимизации работы алгоритма в каждом цикле используется дополнительная процедура пространственной фильтрации поля с помощью фильтра, синтезированного в пакете MATLAB.

На рисунке 2 (а, b, c) приведена картина выделенных контуров, соответствующим отдельным птицам (группам птиц) на различных циклах работы алгоритма. Рис. 2 (а) соответствует первому циклу (выделено 7 областей), рис. 2 (b) – пятнадцатому циклу (25 областей), рис. 2 (c) – тридцатому циклу.

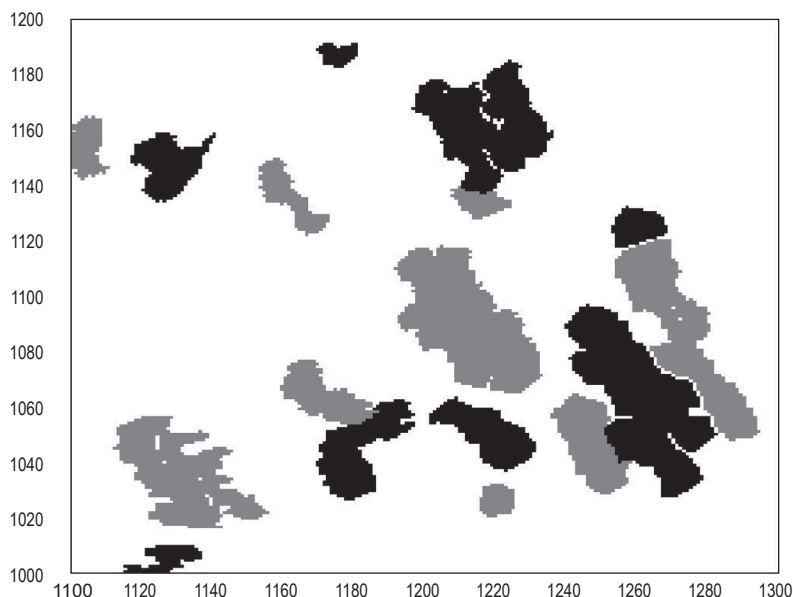


Рис. 2 (с). Картина выделенных контуров, соответствующих отдельным птицам (группам птиц) на тридцатом цикле.

При принятии решения, соответствует ли данная область птице, используются два критерия: размер области и скорость перемещения сигнала вдоль прямой линии, лежащей внутри области. Минимальная площадь, занимаемая сигналом, отраженным от птицы, зависит от ее расстояния до лоатора, и связана с разрешающей способностью системы регистрации (см. табл. 1). Эта площадь может быть вычислена по формуле:

$$J_{\min} = R \times \Delta R \times \Delta \varphi \quad (4)$$

где R – расстояние до лоатора,
 ΔR и $\Delta \varphi$ – разрешающая способность по дальности и по азимуту соответственно.

Максимальная площадь, занятая птицей, определяется максимально возможной скоростью ее движения, а также ее расстоянием до лоатора:

$$J_{\max} = R \times \Delta R \times \Delta \varphi \times V_{\max} \times \Delta T \times N \quad (5)$$

где $V_{\max}$ – максимальная скорость птицы,
 ΔT – период оборота антенны,
 N – число оборотов. Данная область идентифицируется как птица, если ее площадь заключена в пределах $V_{\min} < J < J_{\min}$.

Таким образом, результатом данного этапа работы алгоритма являются выделенные и помеченные области пространства, соответствующие отдельной птице (группе птиц).

Оценивание вектора скорости. На этом этапе для каждого обзора и для каждой выделенной области вычисляются положения центра тяжести сигнала с учетом его мощности.

$$\bar{X}(j) = \sum_i S_{ij} X_i / \sum_i S_{ij}, \quad \bar{Y}(j) = \sum_i S_{ij} Y_i / \sum_i S_{ij} \quad (6)$$

где S_{ij} – значение мощности сигнала,
 i – номер точки внутри каждого обзора,
 j – номер обзора. На рис. 3 (а, b) приведены зависимости положения координат центра тяжести от времени.

На рисунке 3 (с) приведена зависимость координаты $\bar{Y}$ от координаты $\bar{X}$. Видно, что точки приблизительно ложатся на прямую линию. Это означает, что птица летит вдоль прямой линии.

По значениям $\bar{X}(j)$, $\bar{Y}(j)$, $t(j)$ (моменты времени) строятся среднеквадратичные линейные регрессионные зависимости $X(t)$, $Y(t)$, $Y(X)$, показанные также на рисунке 3 (а, b, с). Тангенсы углов наклона полученных зависимостей $X(t)$ и $Y(t)$ являются оценками компонентов скорости птицы V_x и V_y . Получаемые при построении регрессионных зависимостей коэффициенты корреляции R_{xt} , R_{yt} , R_{xy} являются мерой точности оценивания компонентов скорости.

Данная область сигнала идентифицируется, как область, содержащая птицу, и вычисленные скорости принимаются, если все три коэффициента корреляции превышают по абсолютной величине 0,75. В противном случае результаты не принимаются, и область возвращается для расчета в новом цикле оконтуривания с измененным порогом.

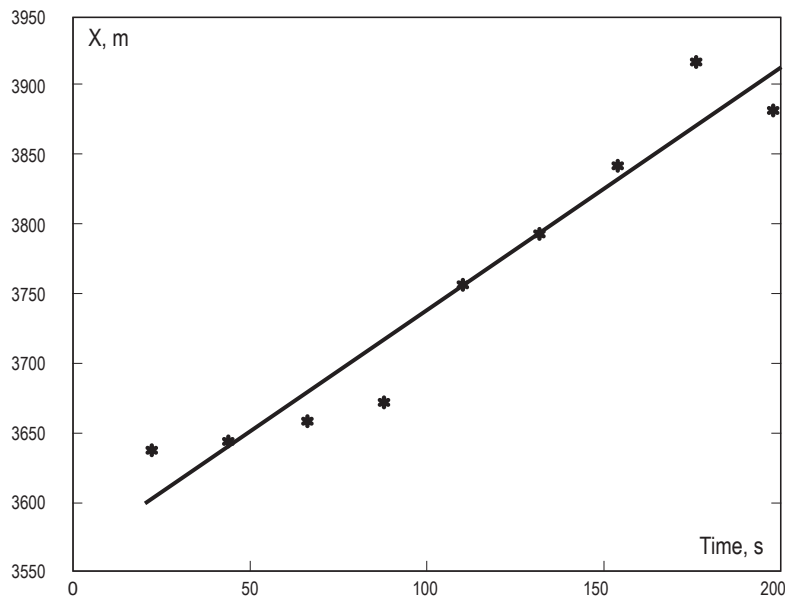


Рис. 3(а). Положения координат центра тяжести от времени, как средне-квадратичная линейная регрессионная зависимость $X(t)$.

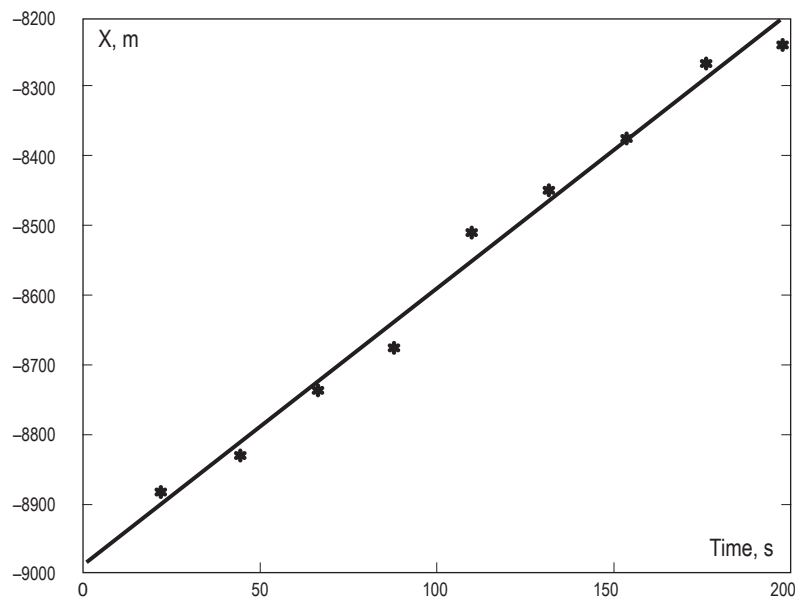


Рис. 3 (b). Положения координат центра тяжести от времени, как средне-квадратичная линейная регрессионная зависимость $Y(t)$.

Дополнительным критерием является абсолютная величина скорости птицы, которая не должна превышать заранее заданного значения (90 км/час).

Для иллюстрации на рис. 4(а) – общая картина радиозха, на рис. 4(б) – орнитолгическая карта после селекции радиозха птиц на основе приведенного первого алгоритма.

На карте в радиусе 50 км векторами представлены радиозха птиц, в правом нижнем углу указана средняя скорость их движения, а стрелкой – среднее направление, в левом нижнем углу указаны общее количество векторов, максимальная и минимальная скорости их движения, в левом верхнем углу указаны дата, время и угол, под которым вращалась антенна. Обычно такие орнитолгические карты векторов, полученные для разных углов места, суммируются и рассчитывается общая орнитолгическая карта в радиусе 50 км относительно радиолокатора.

Следует отметить, что время сбора информации и построения такой орнитолгической карты на основе приведенного алгоритма и соответствующей ему программе обработки радиозха существенно превышает 20 минут. Для построения суммарной орнитолгической карты по нескольким углам места потребуется существенно большее время. В этой связи, данный алгоритм позволяет получать весьма ценную информацию для орнитолгических исследований, но становится мало информационным для решения оперативных задач в управлении воздушным движением. Уменьшение времени расчётов и построения орнитолгических карт на основе данного алгоритма возможно при дальнейшей оптимизации программы.

Основная идея построения второго варианта

алгоритма. По результатам многолетних наблюдений в табл. 3, 4 приведены характерные особенности радиозха перелётных птиц.

В процессе настоящего исследования получен ряд дополнительных, характерных для радиозха птиц, признаков:

- на рис. 5 изображено поле радиозха после аналого-цифровой обработки сигналов 18 обзоров. Этот рисунок позволяет увидеть точечную структуру полос радиозха. Анализ этих рисунков показывает, что одним из основных признаков радиозха птиц является его движение, в результате которого точечные радиозха преобразуются в полосы. При изучении этих полос (см. рис. 5 и увели-

Таблица 3. ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАДИОЭХА ПЕРЕЛЁТНЫХ ПТИЦ

Характерные особенности радиозеха	Исследователи*
– относительно низкая мощность радиозеха. Коэффициент отражаемости ($Z < 30$ dBZ); – поступательное и относительно прямолинейное движение; – максимальные амплитудные флуктуации находятся в области низких частот (до 10 dB в частотном диапазоне 2–50 Hz); – измеренные с помощью МРЛ–5 s на длине волны 10 см больше чем на длине волны 3 см.; – поляризационные характеристики сигнала характерны для горизонтально ориентированных целей. Дифференциальная отражаемость как отношение горизонтально ориентированного отражённого сигнала (при горизонтально поляризованном излучённом сигнале) к вертикально ориентированному сигналу (при вертикально поляризованном излучённом сигнале) существенно превышает единицу ($dP = P_{\parallel} / P_{\perp} \gg 1$). Для мелких капель облаков и осадков она близка к единице; – в диапазоне длин волн λ от 3 до 100 см s птиц и насекомых заметно уменьшаются с увеличением длины волны радиолокатора. В то же время в частотной зависимости s (λ) птиц имеется хорошо выраженный максимум на длине волны $\lambda = 10$ см; – большая дисперсия экспериментальных значений s птиц при $\lambda = \text{const}$ (от нескольких десятков квадратных сантиметров на $\lambda = 3$ см до $s = 10^{-1} \text{ см}^2$ на $\lambda = 100$ см). Характерные значения s для некоторых видов птиц со сложными крыльями приведены в табл. 4; – среднее s значение для разных птиц, длина волны радиозеха от менее 10 см до 15 см² (Воробей) до 400 см² (Альбатрос); – значения s птиц примерно на 2–3 порядка больше s насекомых.	Edwards, Houghton 1959; Salman, Brilev 1961; Houghton 1964; Schaefer 1967; Eastwood 1967; Chernikov and Schupjatsky 1967; Харди 1969; Kropfli 1970; Skolnik 1970; Chernikov 1979; Bruderer and Joss 1969; Bruderer 1992; Shupijatsky A., 1959; Ganja et al. 1991; Russell and Gauthreaux 1998; Gauthreaux et al. 1998; Miller et al. 1998; Buurma 1999; Larkin et al. 2002; Gudmundsson et al. 2002; Komenda-Zehnder et al. 2002; Zavirucha et al. 1977; Venema and Russchenberg 2000; Doviak, R., Zmic, D., 1984; Glover K., Hardy K., 1966; Hajovsky R., Deam A., La Grone A., 1966; Stepanenko V., 1973; Zmic, D. S. and A. V. Ryzhkov (1998); Dinevich, L., L. Kaplan, 2000; Dinevich, L., Leshem, Y., 2008.

* число исследователей характерных особенностей радиозеха от птиц значительно больше, чем указано в настоящей таблице.

**-s – эффективная площадь рассеяния.

ченные фрагменты 1, 2, 3, 4) обращает на себя внимание их относительная прямолинейность. Нарастивание длины полосы происходит за счёт поступательного движения радиозеха во времени. В то же время число формирующих полосу точечных радиозеха на большинстве по-

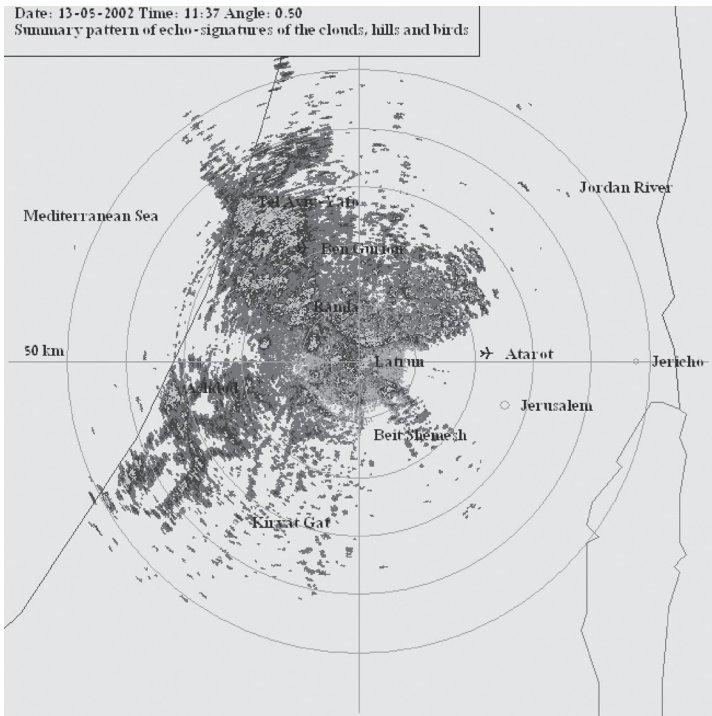


Рис. 4 (а). Общая картина радиозоха (холмы, птицы, летательные аппараты, атмосферные неоднородности и т.д.).

Табл. 4. ВЕЛИЧИНЫ Σ РАЗНЫХ ВИДОВ ПТИЦ СО СЛОЖЕННЫМИ КРЫЛЬЯМИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ИХ ТЕЛА В НАПРАВЛЕНИИ НА РАДИОЛОКАТОР

Вид птицы	Величина σ м ² при облучении птицы с разных сторон		
	бок	голова	хвост
Грач	$2,5 \cdot 10^{-2}$	—	—
Голубь	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Скворец	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Домовый воробей	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$

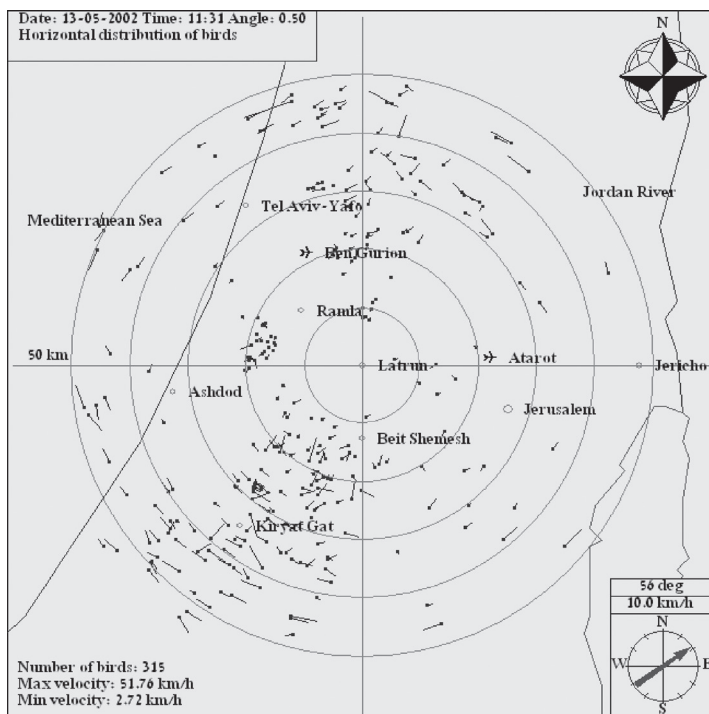


Рис. 4 (b). Орнитологическая карта после селекции радиозёх птиц на основе приведенного первого алгоритма. В радиусе 50 км векторами представлены радиозёх птиц, в правом нижнем углу указана средняя скорость их движения, а стрелкой – среднее направление, в левом нижнем углу указаны общее количество векторов, максимальная и минимальная скорости их движения, в левом верхнем углу указаны дата, время и угол, под которым вращалась антенна.

лос меньше, чем число обзоров, распределены они вдоль полосы не равномерно, имеются пропуски радиозёха на промежуточных обзорах, их прямолинейность нередко нарушается изменением направления;

- 220 экспериментальных наблюдений (в светлое и тёмное время суток) за движением радиозёха птиц на экране радиолокатора и осциллографа показали следующее. В серии из восьми обзоров (80 сек) на фиксированном угле места радиолокатор в радиусе обзора 50 км в заданной ко-

ординатной точке в 68 % случаев отмечал сигналы от птиц из-за их движения только один раз, в 27 % – два раза, в 5 % – три раза. (Координатная точка – точка в пространстве обзора с координатами X, Y, Z и размером, определяемым разрешающими возможностями радиолокатора);

- специально разработанная аналитическая программа позволила проанализировать структуру более 150 отображенных по принципу случайности полос радиозха. Во всех случаях экспериментальные полосы радиозха получены путём формирования суммарных файлов по 8 обзорам на одном фиксированном вертикальном угле антенны. Угол выбирался таким, что бы максимально исключить радиозха от местных предметов. Программа даёт возможность проследить процесс формирования полос по времени от обзора к обзору. Полученные результаты показали, что повторяемость радиозха от птиц в одной и тоже координатной точке за период 8-и обзоров (80 сек) не менее чем в 90 % случаев не превышает двух раз;
- этот результат определяется, как характером движения птиц, так и техническими параметрами системы, т. е. короткими импульсами и узкой, симметричной диаграммой направленности антенны;
- иначе обстоят дела с повторяемостью в одной и той же координатной точке сигналов отражённых от местных предметов, облаков и некоторых видов атмосферных неоднородностей. Радиозха от этих целей, как правило, повторяются на всех или в большинстве обзоров и, вследствие этого, легко отфильтровываются;
- исключение составляют сильно флюктуирующие слабые сигналы, отражённые от рыхлых облаков и осадков. Относительно большая концентрация такого рода «мигающих» сигналов в ограниченной области создаёт иллюзию изменчивости их пространственного положения и воспринимается, как движение. Повторяемость такого радиозха в координатной точке иногда, как и от мигрирующих птиц, не превышает двух раз из восьми обзоров. Однако в силу вышеуказанной природы происхождения

и поведения характерным признаком таких отражателей является хаотичный характер направления псевдодвижения рядом расположенных радиосигналов. Вследствие этого, образованные таким путём векторы, в отличие от векторов мигрирующих птиц, будут иметь хаотичную направленность.

Этот отличительный признак лежит в основе обнаружения этих проблемных областей. В дальнейшем будем называть его *коэффициентом хаоса*.

В итоге, исключая из анализа 8 обзоров все радиоэха, повторяемость которых в одной и той же координатной точке превышает число 2, мы уберём радиоэха местников, облаков, осадков и потеряем не более 5–10 % радиоэха птиц. Оставшиеся радиоэха могут принадлежать птицам. Но для идентификации они подлежат дополнительному анализу по комплексу выше названных признаков и в первую очередь по характеру движения.

Схема сбора сигналов от различных целей

для последующей селекции. Для сбора информации обо всех радиоэха в верхней полусфере радиусом 50 км относительно места стояния радиолокатора предусмотрено два варианта автоматической работы антенны.

1. Вариант сбора радиоэха для обнаружения птиц.

Как и при первом алгоритме, выполняются круговые обзоры антенны с изменением её угла места от 0^0 до n^0 , где n устанавливается в зависимости от фактической высоты полёта птиц. Обычно n равно $5-8^0$. Подъём антенны осуществляется автоматически с задаваемым шагом. Обычно он равен диаграмме направленности антенны. На каждом из фиксированных углов места антенны выполняются 8 обзоров. Скорость вращения антенны – один оборот за 10 сек.

2. Вариант сбора радиоэха для измерения параметров облаков и осадков.

Выполняются круговые обзоры антенны с изменением её угла места от 0^0 до 85^0 . Подъём антенны осуществляется автоматически с задаваемым шагом. На каждом из фиксированных углов места антенна выполняет только один обзор. Скорость вращения антенны – один оборот за 10 сек.

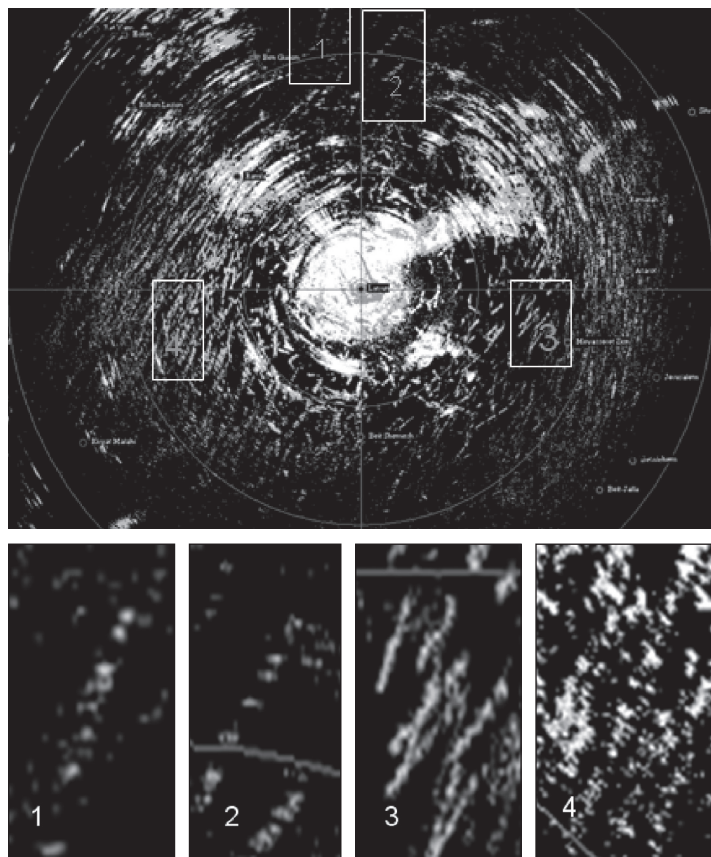


Рис 5. Поле радиозоха после аналого цифровой обработки 18 обзоров на одном и том же угле. Этот рисунок позволяет увидеть точечную структуру полос радиозоха птиц. Анализ этих рисунков показывает, что одним из основных признаков радиозоха птиц является его движение, в результате которого точечные радиозоха преобразуются в полосы. Внизу увеличенные фрагменты 1, 2, 3, 4.

Селекция и анализ радиозоха птиц выполняется на основе ниже изложенного алгоритма.

Селекция и анализ радиозоха облаков и осадков выполняется на основе алгоритма представленного в [Abshayev et al. 1984].

***Метод и алгоритм селекции радиозха птиц
(вариант второй):***

- а) *общие соображения.* Как и в первом варианте исходными данными для селекции радиозха птиц являются поля радиолокационной отражаемости, получаемые суммированием заданного числа последовательных азимутальных обзоров на нескольких фиксированных углах.
- б) *алгоритм селекции радиозха птиц (вариант второй).* Алгоритм селекции радиозха птиц включает в себя несколько основных стадий: анализ мощности принимаемых сигналов и селекция по их уровню (эта операция выполняется так же, как и в первом варианте (См. Б. 1. Анализ мощности)).
- 1) Суммирование всех радиозха (выше уровня шума) по заданному числу обзоров;
 - 2) Отделение каждой птицы (группы птиц) от других отражающих объектов посредством селекции радиозха по факту и характеру их движения. Программа отслеживает, что бы из 8 возможных точек радиозха не менее 5 последовательных из них лежали в области близкой к прямой линии;
 - 3) вычисление вектора скорости для каждой птицы, группы птиц (расчёт скорости выполняется так же, как и в первом варианте);
 - 4) исключение ложных векторов методом специального анализа векторных полей. Одним из важных элементов этого анализа является коэффициент хаоса направлений рядом расположенных векторов;
 - 5) построение нескольких типов орнитологических и метеорологических карт.

Отделение каждой птицы (группы птиц) от других отражающих объектов посредством селекции радиозха по факту и характеру его движения. Данный процесс, как правило, происходит в несколько этапов.

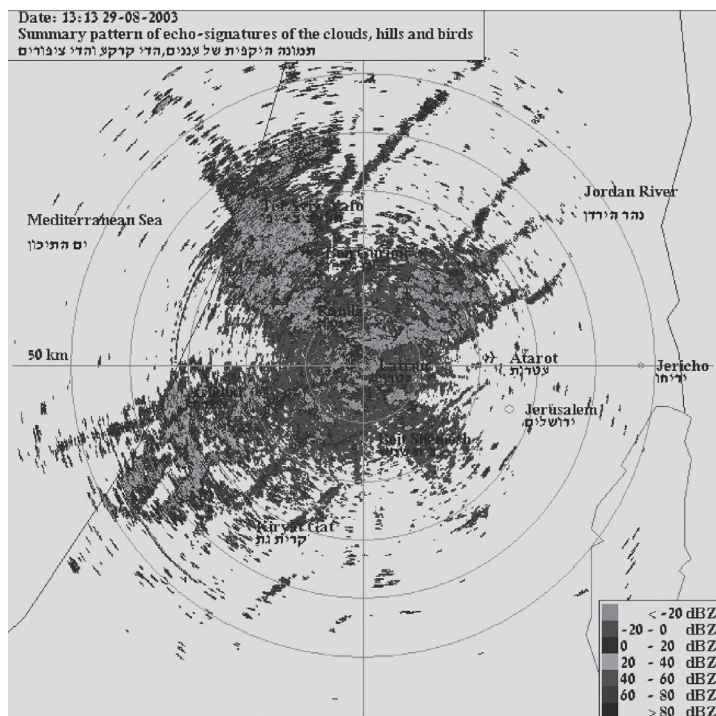


Рис. 6 (а). Суммарная картина всех видов отражателей с учётом их смещения за 13 часов 13 минут 29 августа 2003 года. В центре карты место размещения радиолокатора. Направление вверх совпадает с направлением на север. Радиус обзора 50 км. Продольная линия на западе – граница суши и моря. Длинные (до десятков километров), короткие (несколько километров), ориентированные с северо востока на юго запад, полосы радиозеха а так же многие радиозеха в виде отдельных точек – отражения от птиц, радиозеха в виде площадок, тангенциально ориентированных широких и узких полос, а также и некоторых точек – отражения от облачных образований и местных предметов (холмов, высотных домов, линий электропередач, шоссе, сейных дорог и т.д). На востоке, севере и юго западе хорошо просматриваются группы радиозеха в виде последовательно смещающихся коротких дуг. Это радиозеха самолётов.

Этап первый. На основе анализа суммарных полей радиозеха по восьми обзорам на каждом угле формируются по два отдельных файла, в том числе:

1. Путём простого суммирования всех, превышающих уровень шума, сигналов радиозеха на всех обзорам и на всех

углах строятся карты, представляющие собой суммарную картину всех видов отражателей с учётом их смещения. На рисунке 6(а) представлен пример такой карты за 13 часов 13 минут 29 августа 2003 года. В центре карты – место размещения радиолокатора. Направление вверх совпадает с направлением на север. Радиус обзора 50 км. Продольная линия на западе – граница суши и моря. Длинные (до десятков километров), короткие (несколько километров), ориентированные с северо востока на юго-запад, полосы радиоэха а так же многие радиоэха в виде отдельных точек являются отражениями от птиц. Подтверждением тому являются визуальные наблюдения нескольких наблюдателей, в том числе личные наблюдения авторов. Птицы (обыкновенный осоед) летели непосредственно над радиолокатором. Такие полосы птиц часто формируются в условиях прохождения приземного, не выраженного облачностью мезофронта, образованного под влиянием бриза [Alpert and Tannhauser, 2000]. Конвективные потоки на такого рода фронтах создают наилучшие условия для формирования «дороги» перелётным птицам [Leshem and Yom-Tov, 1996].

Подобные картины миграции больших стай различных видов птиц авторы с помощью данной радиолокационной системы наблюдают в каждом сезоне (весной и осенью). На представленном рисунке радиоэха в виде площадок, тангенциально ориентированных широких и узких полос, а также и некоторых точек – отражения от облачных образований и местных предметов (холмов, высотных домов, линий электропередач, шоссе, дорог и т.д). Эти радиоэха, меняя свою конфигурацию в зависимости от условий рефракции, присутствуют на такого типа картах всегда. На востоке, севере и юго-западе хорошо просматриваются группы радиоэха в виде последовательно смещающихся коротких дуг. Это радиоэха самолётов. Учитывая, что временной интервал между дугами 10 сек, и определив расстояние между ними, можно рассчитать скорости этих самолётов. Для оценки орнитологической ситуации по такой карте требуются знания региональных особенностей данной местности и возможность анализа эволюции радиоэха во времени, который может быть выполнен только опытным наблюдателем. Такая информация даёт лишь общее представление об орнитологической обстановке;

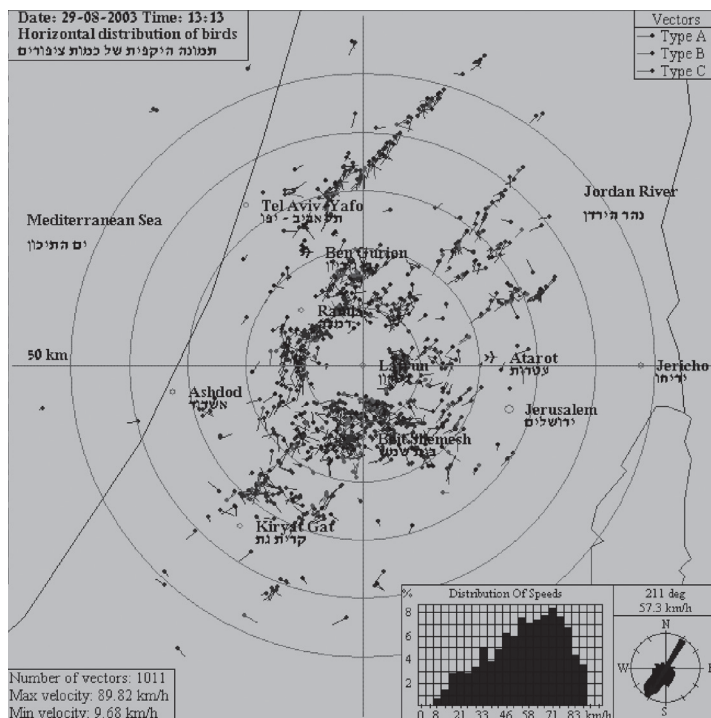


Рис. 6 (b). Орнитологическая карта за 13 часов 13 минут 29 августа 2003 года (то же, что на рис. 6(a), но после всех этапов селекции радиозоха птиц. Расстояния между метками – 10 км. Время сбора, обработки радиозоха и построения всех орнитологических карт 10 минут. Радиозоха птиц представлено в векторном виде. Радиус обзора 50 км. Пятно в центре радиусом примерно 3–5 км – мёртвая зона. Длина наибольшей полосы птиц около 90 км. Она состоит из отдельных участков с различной плотностью векторов на ней. Общее количество векторов (отдельных птиц или групп птиц) 1011.

На нижнем рисунке спектр скоростей, из которого видно, что максимальная скорость равна почти 90 км в час, минимальная – почти 10 км в час. Из розы направлений (правый нижний угол рисунка) видно, что суммарный вектор ориентирован на юго запад (211 градусов), а средняя скорость перелётов 57,3 км/час. В правом верхнем углу рисунка приведено три типа векторов, характерных для различных видов движения.

2. Для формирования второго файла исключаем сигналы, мощность которых превышает 30dBZ, и далее используем факт и признак движения, т.е. в каждом обзоре исключим из рассмотрения все сигналы, попавшие в одну и ту же координатную точку более заданного числа раз (обычно это число равно двум). Такой приём позволяет убрать радиоэха от большей части местных предметов, плотных облаков и осадков.

Вспомним, что каждое радиоэха в нашей компьютеризированной системе представляет собой «пятно», которое состоит из некоторого количества сигналов (точек) со своими координатами и со своими мощностями [см. 12, параграф 2б]. Координата центра тяжести каждого «пятна», с учётом мощности составляющих его сигналов, вычисляется с помощью простейших соотношений.

$$\bar{X}(j) = \sum_i S_{ij} X_i / \sum_i S_{ij}; \quad \bar{Y}(j) = \sum_i S_{ij} Y_i / \sum_i S_{ij}, \quad (7)$$

- где n – число сигналов (точек) в «пятне»,
 p_i – мощности составляющих «пятно» сигналов,
 i – номер сигнала (точки) в пятне. Верхнее значение i равно примерно 27 и определяется техническими характеристиками радиолокатора и системой аналого цифровой обработки сигналов (табл. 1). Нижнее значение i определяется шумовым порогом. Экспериментально нами принято нижнее значение $i \geq 4$.

При значении $i < 4$ число «пятен» радиоэха увеличивается в несколько раз, что в свою очередь приводит к существенному увеличению времени расчётов, а в итоге всех этапов селекции к появлению ложных данных.

Вместе с тем понятно, что данное ограничение исключает из дальнейшего анализа и часть очень слабых полезных сигналов. Оценить эту погрешность на данном этапе не представляется возможным.

Таким образом, в результате первого этапа селекции радиоэха по признаку движения (радиоэха движется – радиоэха не движется) сформирован файл, который содержит сигналы (центры «пятен» радиоэха) только от подвижных и сильно флюктуирующих целей. В ряде погодных ситуаций такого рода сигналы могут принадлежать сильно флюктуирующим

радиозха от мелко капельных облаков и осадков, атмосферным неоднородностям и т. д. Большая же часть этих радиозха – птицы мигранты, летящие в определённых направлениях, часть – птицы местные, часто меняющие направление движения. Подробное изложение алгоритма дальнейшей селекции радиозха по признакам движения см. в [13; 14].

Здесь лишь отметим, что дальнейшая селекция радиозха птиц на следующих этапах включает в себя построение отрезков прямых по заданному числу точек с учётом критериев поступательности и линейности движения, выделения, удаления ложных прямых, расчёт скоростей и графического представления данных о полётах птиц, в том числе на фоне холмов и атмосферных образований.

***Графическое представление данных о полётах птиц,
в том числе на фоне холмов и атмосферных образова-***

ний. В итоге всех этапов селекции отражённых сигналов по вышеуказанным признакам получаем в радиусе обзора объёмный файл, содержащий раздельно информацию о различных типах радиозха, в том числе о местных предметах, облаках и осадках, местных и перелётных птицах и т. д.

Спроецировав по данным объёмного файла радиозха от перелётных птиц на горизонтальную плоскость, получим в векторном виде их распределение в радиусе обзора радиолокатора.

Если на эту горизонтальную проекцию нанести масштабные метки, схему дорог, места расположения городов, береговую линию, сориентировать по странам света и т. д., то можно её назвать, по аналогии с синоптическими, радиолокационными орнитологическими картами.

На рис. 6(б) приводится такая карта за 13 часов 13 минут 29 августа 2003 года. На ней отражена та же реальная ситуация, что и на рис. 6(а), однако после всех этапов селекции радиозха. Время сбора, селекции радиозха птиц и построения всех видов орнитологических карт заняло 10 мин. Орнитологическая информативность рис. 6(б) гораздо выше, чем рис. 6(а). Радиозха от птиц представлено в векторном виде. Радиус обзора – 50 км. Пятно в центре радиусом в 3–5 км – мёртвая зона. Длина наибольшей полосы птиц около 90 км. Она состоит из отдельных участков с различной плотностью векторов на ней. Общее количество векторов (отдельных птиц или групп птиц) 1011. На рисунке представлен спектр скоростей перелёта, из которого видно, что максимальная скорость (с учётом скорости ветра) равна почти 90 км в час, а минимальная, почти 10 км в час. Из розы

направлений (правый нижний угол рисунка) видно, что суммарный вектор ориентирован на юго-запад (211 градусов), а средняя скорость перелётов 57,3 км/час. В правом верхнем углу рисунка приведено три типа векторов, характерных для различных видов движения, в том числе движение относительно прямолинейное и равномерное, движение прямолинейное, но не равномерное, движение не равномерное и с отклонением от прямолинейности. Следует иметь в виду, что перечисленные характеры движения соответствуют различным видам птиц. На основе той же базы данных строится график распределения птиц по высотам в заданном секторе. Такой график, например, представлен на рис. 7. Здесь по оси абсцисс – число птиц (групп птиц) в слое. По оси ординат на графике – высота. В названии графика указан сектор, в котором представлено распределение птиц по высотам. Программа обработки радиоэха позволяет выбирать сектор оперативно. На графике несколько горизонтальных стрелок, заканчивающихся цифровыми обозначениями. Длина каждой стрелки пропорциональна числу птиц в соответствующем пятисот километровом слое. График позволяет определять высоту максимальной концентрации птиц и оценивать максимальную высоту полёта.

На рис. 8 представлена в качестве примера объёмная картина распределения птиц над определённым участком местности. Вынесенная за пределы рисунка стрелка указывает направление на север. Большая точка на поверхности – место размещения радиолокатора. На западе местность переходит в прибрежную зону, на востоке – холмы. Горизонтальные плоскости лежат на различном высотном уровне. Программа позволяет осматривать объёмную картину распределения птиц под любым углом и в оперативном режиме времени определять точную координату каждого радиоэха от птицы.

Для иллюстрации механизма реализации алгоритма формирования векторов движения радиоэха птиц см. рис. 9.

На нём представлена орнитологическая карта за 12 часов 11 минут 29 августа 2003 года (после всех этапов селекции радиоэха птиц). Квадратом выделено два вектора, которые в вынесенном прямоугольнике увеличены в масштабе и хорошо демонстрируют весь, представленный в статье, механизм реализации алгоритма формирования векторов. Начало векторов лежит в центре тяжести первого в серии из восьми горизонтальных оборотов антенны. Все остальные центры лежат на последующих по времени радиоэха.

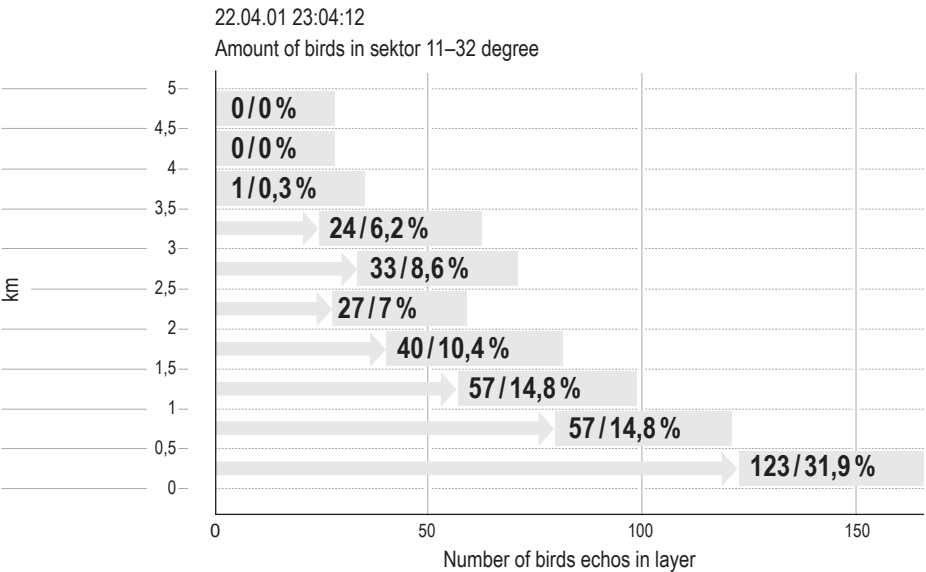


Рис. 7. График распределения птиц по высотам в заданном секторе. По оси абсцисс – число птиц (групп птиц) в слое. По оси ординат – высота. В названии графика указан сектор, в котором представлено распределение птиц по высотам. Длина каждой стрелки пропорциональна числу птиц в соответствующем пятиот метровом слое.

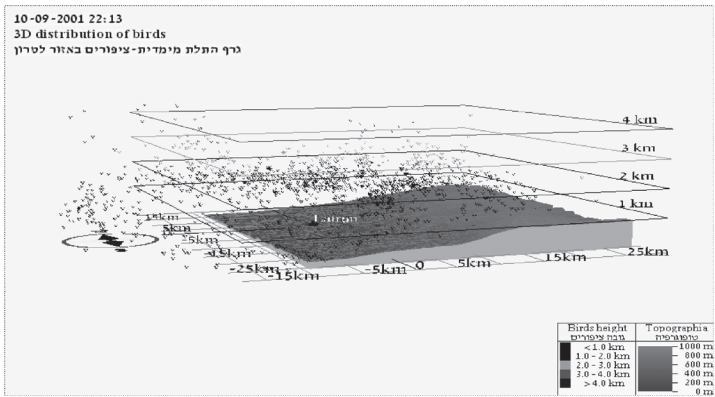


Рис. 8. Объёмная картина распределения птиц над определённым участком местности. Вынесенная за пределы рисунка стрелка указывает направление на север. Большая точка на поверхности – место размещения радиолокатора. На цветном рисунке радиозха птиц разделяются по слоям один, два, три и т.д. км цветами. Программа предусматривает исследование объёмной орнитологической ситуации в изменяющемся масштабе и под любым ракурсом.

Сформированный объёмный файл, помимо данных о птицах, содержит отдельную информацию о местных предметах, облаках и осадках. Используя цветовую гамму или различные обозначения, эту информацию можно отразить на орнитологических картах.

Таким образом, резюмируем:

1. Найденные для различных целей признаки радиолокационных сигналов и разработанный на их основе алгоритм позволяет распознавать радиозах от птиц и в оперативном масштабе времени строить векторные поля их движения, в том числе по высотам;
2. Способ построения векторных полей позволяет разделять птиц по характеру их движения на четыре категории, в том числе птицы часто меняющие направление движения (местные), летящие прямолинейно и с постоянной скоростью, прямолинейно, но с переменной скоростью, с отклонением от прямолинейного движения и с переменной скоростью;
3. Построенные на основе разработанных алгоритмов радиолокационные орнитологические карты содержат в масштабе до 50 км относительно места размещения радиолокатора следующую информацию:
 - общее количество птиц в воздухе, в том числе мигрантов;
 - значения их максимальной и минимальной скорости полёта;
 - количественное распределение всех птиц по высотам;
 - спектры скоростей и направлений полёта птиц, в том числе вектор суммарного направления;
 - векторные поля движения птиц на фоне метеорологической обстановки и с привязкой к местности;
 - распределение видов птиц по характеру их движения (степени прямолинейности и равномерности);
 - об облаках, осадках, невидимых визуально атмосферных образованиях и их параметрах, в том числе об их эволюции во времени.
4. Наиболее проблематичными для описанного алгоритма являются слабые сильно флюктуирующие радиозах

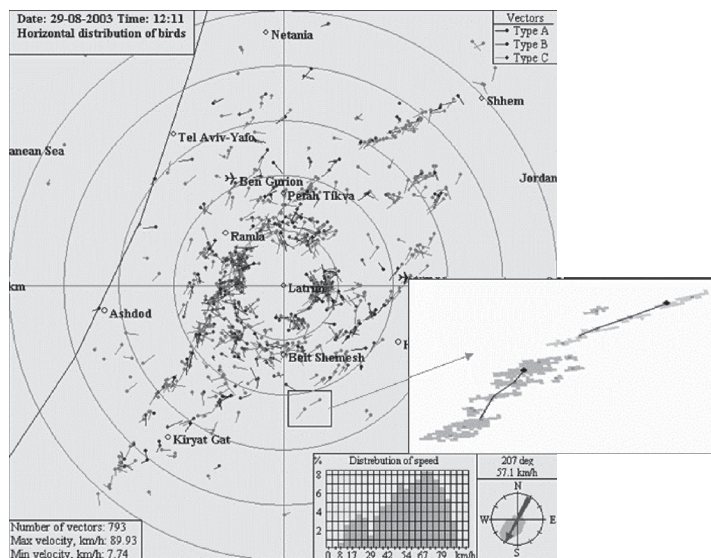


Рис. 9. Орнитологическая карта за 12 часов 11 минут 29 августа 2003 года (после всех этапов селекции радиозха птиц). Длина наибольшей полосы птиц около 100 км. Общее количество векторов 793. Из розы направлений (правый нижний угол рисунка) видно, что суммарный вектор ориентирован на юго запад (207 градусов), а средняя скорость перелётов 57,1 км/час. Квадратом выделено два вектора, которые в вынесенном прямоугольнике увеличены в масштабе и хорошо демонстрируют весь, представленный в статье, механизм реализации алгоритма формирования векторов.

от мелкокапельных облаков и осадков, а также от насекомых и атмосферных неоднородностей. Однако, система позволяет в дальнейшем применить дополнительные признаки, которые повысят надёжность анализа такого типа радиозха. Среди таких признаков отношение коэффициентов отражения на двух длинах волн, поляризационные, флюктуационные и доплеровские характеристики радиозха различных отражателей. Анализ таких характеристик радиозха для данной задачи частично уже проработан [11; 12; 14];

5. Разработанная радиолокационная орнитолгическая система позволяет выполнить мониторинг межконтинентальных перелётов больших масс птиц в реальном времени с использованием сети, размещённых на большой территории в различных Странах, радиолокаторов, в том числе МРЛ-5;
6. Предложенный метод распознавания птиц может быть применён и с другими типами высоко потенциальных когерентных и не когерентных радиолокаторов, антенны которых формируют остро направленные симметричные диаграммы.

Автор благодарит проф. Й. Лешема, Александра Капитанникова, Валерия Гаранина, Олега Сикору, Марка Пинского и Александра Стеркина за помощь в выполнении отдельных разделов программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Abshayev M., Burtsev I., Vaksenburg S., Shevela G.** Guide for use of the MRL-4, MRL5 and MRL-6 radars in urban protection systems. L., Hydrometeoizdat. 1980.
2. **Abshayev M., Kaplan L., Kapitannikov A.** Form reflection of meteorologic targets at the primary processing of the meteorologic radar signal. Transactions of VGI, Bd 55. 1984.
3. **Alpert P., Tannhauser D. S.** Migrating soaring birds align along sea-breeze fronts; First evidence from Israel. Bulletin of the American Meteorological Society 81(7), 2000. 3. 1599–1601.
4. **Bruderer B. and Joss.** Zur Registrierung und Interpretation von Echosingnaturen an enema 35 cm-Zielverfolgungstradar. Orn. Beob., 1969. Bd 66, 70–88.
5. **Bruderer B.** Radar studies on Bird migration in the south of Israel. BSCE/21, Jerusalem, 1992. P. 269–280.
6. **Buurma, L.** The Royal Netherlands Air Force: Two Decades Of Bird Strike Prevention «En Route». International Seminar on Birds and Flight Safety in the Middle East, Israel, April, 25–26, 1999. P. 71–83.
7. **Chernikov A.** Radar clear sky echoes. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1979. P. 3–40.
8. **Chernikov A., Schupjatsky A.** Polarization characteristics of radar clear sky echoes. Transactions of USSR academy of sciences, atmosphere and ocean physics, V. 3, 1967. № 2. P. 136–143.
9. **Dinevich L., Leshem I., Gal A., Garanin V., Kapitannikov A.** Study of

- birds migration by means of the MRL-5 radar. J. Scientific Israel –Technological Advantages. Vol. 4. 2000.
10. **Dinevich L., Kaplan, L.** On Radar observation of Birds migration. J. Scientific Israel –Technological Advantages. Vol. 4. 2000.
 11. **Dinevich L., Leshem Y., Sikora O.** Radar Observations Analysis Of Season Bird Migration In Israel At Night (Based on data of radar photo registration obtained in 1998–2000), J. Scientific Israel –Technological Advantages, Vol. 3, 2001, No. 1–2.
 12. **Dinevich L., Leshem Y., Pinsky M., Sterkin A.** Detecting Birds and Estimating their Velocity Vectors by Means of MRL-5 Meteorological Radar. J. The RING 26, 2004. (2): 35–53.
 13. **Dinevich L., Leshem Y.** Algorithmic System for Identifying Bird Radio-Echo and Plotting Radar Ornithological Charts. Journal The Ring # 1–2, Vol. 29. Poland. 2007. P. 3–39.
 14. **Dinevich L., Leshem Y.** Identification of migrating birds' echo and plotting ornithological charts based on MRL-5 radar data. Journal «Advanced Contemporary Radioelectronics», №3, P. 48–68; The Institute for Radio Engineering and Radioelectronics, Russian Academy of Science, Moscow. 2008.
 15. **Eastwood E.** Radar ornithology. London, Methuen, 278. 1967.
 16. **Edwards J., Houghton E. W.** Radar echoing area polar. Diagrams of birds. Nature. 1959. №. 4. P. 692.
 17. **Houghton E.** Detection, recognition and identification of birds on radar. In: World conf. Radio Met., Amer. Met. Soc., Boston, 1964. P. 14–21.
 18. **Doviak R., Zrnic D.** Doppler Radar and Weather Observation. Academic Press Inc., 1984. 512 p.
 19. **Gauthreaux S. A. and Belser C. G.** Radar ornithology and biological conservation. Auk 120 (2). 2003. P. 266–277.
 20. **Ganja I., Zubkov M., Kotjazi M.** Radar ornithology, Stiinza, 1991. P. 123–145.
 21. **Gudmundsson G. A., T. Alerstam, et al.** Radar observations of Arctic bird migration at the Northwest Passage, Canada. Arctic 55 (1). 2002. P. 21–43.
 22. **Gauthreaux Sidney A. Jr., David S. Mizrahi, Carroll G. Belser.** Bird Migration and Bias of WSR–88D Wind Estimates. Weather and Forecasting 13. 1998. P. 465–481.
 23. **Glover K., Hardy K., 1966.** Dot angels: insects and birds. – In: Proc. 12th Weather Radar Conf., Amer. Met. Soc., Boston, 1966. P. 264–268.
 24. **Hajovsky R., Deam A., La Grone A.** Radar reflections from insects in the lower atmosphere. – IEEE Trans. On Antennas and Propagation, vol.14, 1966. P. 224–227.
 25. **Харди К.** Зондирование безоблачной атмосферы с помощью мощных радиолокаторов с высоким разрешением // Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике». Т. 57. 1969. №4. М.: Мир, С. 109–112.
 26. **Komenda-Zehnder S., Liechti F.** Is reverse migration a common feature of nocturnal bird migration. An analysis of radar data from Israel. Ardea 90 (2). 2002. P. 325–334.

27. **Kropfli R. A.** Simultaneous radar and instrumented aircraft observations in a clear air turbulent layer. In: Prepr. 14th Radar Met. Conf., Amer. Met. Soc., Boston, 1970. P. 117–120.
28. **Larkin R. P., Evans W. R.** Nocturnal flight calls of Dickcissels and Doppler radar echoes over south Texas in spring. *Journal of Field Ornithology* 73(1). 2002. P. 2–8.
29. **Leshem Y., Yom-Tov Y.** Routes of migrating soaring birds. *Ibis* 140, 1998. P. 41–52.
30. **Leshem Y., Yom-Tov Y.** The use of thermals by soaring migrants in Israel. *Ibis* 138, 1996. P. 667–674.
31. **Miller M. A., Verlinde J.** Detection of nonprecipitating clouds with the WSR-88D: a theoretical and experimental survey of capabilities and limitations. *Weather and Forecasting* 13(4). 1998. P. 1046–1062.
32. **Venema, V., Russchenberg H.** Clear-air scattering observations: downdraft and angels. *Physics and Chemistry of the Earth. B: Hydrology* 25(10–12). 2000. P. 1123–1128.
33. **Russell K. R., Gauthreaux S. A.** Use of weather radar to characterize movements of roosting purple martins. *Wildlife Society Bulletin* 26(1). 1998. P. 5–16.
34. **Сальман Е., Брылёв Г.** Радиозах диэлектрических неоднородностей термического характера. Тр. ГГО. Вып. 120. 1961. С. 37–44.
35. **Skolnik M.** *Radar Handbook*. McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1970.
36. **Schaefer G.** The study of birds echoe using a tracking radar. *Proc. 14th Int. Ornith. Cjngress. Oxford*. 1966.
37. **Шупяцкий А.** Радиолокационное рассеяние несферическими частицами, Тр. ЦАО, вып. 30, 1959. С. 39–52.
38. **Степаненко В.** Радиолокация в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат. 1973.
39. **Zavirucha V., Saricev V., Stepanenko V., Shepkin U.** Study of the dispersion characteristics of the meteorological and ornitological objects in echo-free cameras *Proc. Main Geophysic Observatory. № 395*. 1977. С. 40–45.
40. **Zrnic D. S., Ryzhkov A. V.** Observations of insects and birds with a polarimetric radar. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 36 (2). 1998. P. 661–668.

ОБ АВТОРЕ

Леонид Абрамович Диневи́ч, профессор Тель-Авивского университета (г. Тель-Авив, Израиль), доктор физико-математических наук. E-mail: Dinevich@013.net

Leonid Abramovich Dinevich, a professor in the Tel Aviv University (Tel Aviv, Israel), Doctor of Physical and Mathematical Sciences. E-mail: Dinevich@013.net