

УДК [598.2:591.552]:528.94:529

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GPS-НАВИГАТОРА ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ КОЛОНИЙ ПТИЦ: МЕТОДИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА

С. П. Харитонов¹, Н. Ю. Иваненко², И. П. Чухарева³, Ю. А. Анисимов¹

¹ Центр кольцевания птиц России ИПЭЭ РАН
Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33
E-mail: serpkh@gmail.com

² Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН
Россия, 183010, Мурманск, Владимирская, 17
E-mail: nadezda-ivanenko@yandex.ru

³ Южно-Уральский государственный университет
Россия, 454080, Челябинск, просп. Ленина, 76
E-mail: ornis12007@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.05. 09 г.

Использование gps-навигатора для картирования колоний птиц: методическая проверка. – Харитонов С. П., Иваненко Н. Ю., Чухарева И. П., Анисимов Ю. А. – Данные измерений небольших расстояний (начиная от 0.5 м), полученные при помощи GPS-навигаторов и рулетки, сравнивались между собой. Для проверки использованы две тестовые площадки с пронумерованными вешками и результаты картирования колоний околотовных птиц. Получилось, что если выборка достаточно велика, то для вычисления среднего расстояния до ближайшего соседа GPS-навигаторы можно использовать даже для расстояний 0.5 – 2 м между точками. Определить тип распределения гнезд в колонии при помощи GPS можно только в том случае, если большинство расстояний между центрами гнезд больше 2 м, метод достаточно надежен для больших выборок. Для малых выборок проведенные при помощи GPS измерения искажают тип распределения. Предлагается математический прием, позволяющий преодолеть эти искажения.

Ключевые слова: колония, картирование, GPS-навигатор, рулетка.

Usage of GPS devices for bird breeding colony mapping: testing of the method. – Khari-
tonov S. P., Ivanenko N. Yu., Chukhareva I. P., and Anisimov Yu. A. – Short distances (from
0.5 m up) measured with GPS devices and a ruler were compared with each other. Two test
plots with numbered sticks and the results of mapping of some waterbird colonies were used for
comparison. If a sample is large enough, it is possible to use a GPS device for mean nearest neighbour
distance calculations even for distances as short as 0.5 – 2 m between the mapping points. The
type of the spatial distribution of nests can be properly identified with a GPS device only when
most distances between the centers of the nests are longer than 2 m; the method is quite reliable for
large samples. In small samples, the type of the nest distribution calculated from measurements
obtained with a GPS device is biased. A mathematical way to override this bias is proposed.

Key words: colony, mapping, GPS-device, ruler.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы для изучения пространственно-этологической структуры поселений птиц, в частности колоний, используются характеристики распределе-
ния гнезд, полученные на основе измерения расстояний между этими гнездами.

Весьма перспективным является метод оценки распределения гнезд методом ближайшего соседа как на плоскости (Харитонов, 2007 *а*; Clark, Evans, 1954), так и на линии (Харитонов, 2005, 2007 *а*). Прежде чем проводить анализ распределения гнезд, необходимо получить карту поселения птиц. Для картирования точек, расположенных на относительно большом расстоянии друг от друга (десятки метров), с успехом применяются GPS-навигаторы. Этот метод, в частности, применялся нами при картировании колоний черных казарок, образовавшихся вокруг гнезд белых сов, и колоний краснозобых казарок вокруг сапсанов на Таймыре (Харитонов и др., 2008, 2009). Если расстояния между какими-то гнездами в таких колониях были всего несколько метров, то эти расстояния дополнительно промерялись рулеткой, и именно последние расстояния использовались при построении карты колонии. Расстоянием между гнездами считается расстояние между их центрами (Харитонов, 2007 *а*).

Если же расстояния между гнездами составляют метры и десятки сантиметров, то картирование необходимо проводить более точными инструментами – рулеткой или компасом вместе с рулеткой. При помощи этих инструментов можно построить карту колонии, если использовать «метод треугольников» (расстояния между гнездами промерены рулеткой так, чтобы образовать треугольники) или «метод азимутов и расстояний» (расстояние между гнездами измеряется один раз, азимут от гнезда к гнезду определяется при помощи буссоли) (Харитонов, 2007 *а*). После получения этих данных в поле необходимо получить оцифрованную карту колонии, где каждое гнездо будет иметь свои координаты *X* и *Y*. К сожалению, среди общераспространенных программ нет такой, которая позволяла бы оцифровать таким образом снятую карту колонии. На этот случай разработана собственная компьютерная программа «Colonmap» («Карта колонии»), которая позволяет оцифровать совокупности точек на местности и получить характеристики пространственных распределений этих точек (Харитонов, 1999, 2007 *а*, *б*).

Однако бывают случаи, когда измерение расстояний рулеткой затруднено (Чухарева, Харитонов, 2009) или картирование желательно провести быстро. Последнее бывает в случаях, когда колония достаточно велика – в десятки и сотни гнезд, а время ее осмотра ограничено. Процесс промеров расстояний по треугольникам довольно долг, немногим меньше времени занимает метод азимутов и расстояний, а большую колонию нередко бывает необходимо закартировать быстро, чтобы уменьшить фактор беспокойства. В этом плане исследователи опять обращают внимание на GPS-навигатор, который позволяет за короткое время снять координаты всех гнезд (Савицкий, 2007). Кроме того, совокупности точек с географическими координатами могут быть легко оцифрованы в распространенной программе MapInfo. Все это заставило нас провести тестовые исследования, чтобы понять, какие заключения по структуре колонии все же можно делать на основании карты, снятой при помощи GPS на колонии, где гнезда расположены на не-большом расстоянии друг от друга.

Следует отметить, что карта в этих исследованиях нужна лишь как промежуточный продукт, поскольку нам гораздо интереснее не положение каждого конкретного гнезда на карте, а характеристики всей совокупности гнезд: среднее рас-

стояние между ближайшими соседями и тип распределения гнезд. Именно по этим характеристикам можно сделать важные биологические выводы (Харитонов, 2005, 2007 а, б).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Весной 2009 г. в Московской области было проведено тестовое картирование двух тестовых площадок с пронумерованными вешками. На первой площадке было 102 вешки, наиболее часто встречающие расстояния между вешками – 0.5 – 2 м. Вторая площадка содержала 80 вешек, расстояния между вешками 2 – 10 м. Координаты всех вешек были сняты двумя довольно распространенными GPS-навигаторами: Garmin-12XL и Garmin-72, затем – при помощи рулетки методом треугольников. При помощи программы «Карта колонии» для каждой площадки были получены по три оцифрованных карты расположения вешек – две карты по координатам двух GPS и соответственно третья карта по промерам рулеткой. Карты, полученные при помощи рулетки, очевидно, были наиболее точными. Поэтому они являлись контрольными при проверке данных, полученных при помощи GPS. Вычисляли среднее расстояние до ближайшего соседа и тип распределения гнезд для каждой из 6 карт. Площадь каждой совокупности точек определялась так же, как и площадь колонии (Харитонов, 2005, 2007 а).

В 2000 г. параллельное картирование гнезд GPS Garmin-12XL и рулеткой было проведено в одной из небольших (14 гнезд) колоний таймырских серебристых чаек на островке Карского моря под пос. Диксон Таймырского АО. В 2008 г. при помощи GPS Garmin-12 была закартирована большая смешанная колония серых гусей и обыкновенных гаг на о. Большой Айнов Баренцева моря. Данная колония содержала 145 гнезд серого гуся и 350 гнезд обыкновенных гаг. При этом 100 самых малых расстояний между гнездами были дополнительно промерены рулеткой. Использован опыт картирования смешанных колоний озерных чаек и черношейных поганок в Челябинской области, всего за 2005 – 2009 гг. там закартированы три таких колонии, включавших 197 гнезд озерной чайки и 115 гнезд черношейной поганки. Небольшое число сравнительных измерений расстояний (14 расстояний) рулеткой и GPS Garmin-eTrex Venture Cx между гнездами белошеких казарок проведено в 2008 г. на о. Колгуев в одной из колоний этих птиц.

При вычислении расстояний и азимутов между точками по их географическим (GPS) координатам использовалась формула Л. А. Земитиса (1987) – одна из наиболее точных формул для данной процедуры, существующих на настоящий момент.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Картирование тестовых площадок. На обеих тестовых площадках, особенно на первой, расстояния между точками специально были взяты маленькими, и ошибка точности GPS ожидаемо должна была влиять на получаемые результаты (рис. 1, 2). При очень малых расстояниях между всеми картируемыми точками (0.5 – 2 м) полученные по GPS-координатам карты заметно отличаются от реальной, то есть полученной при помощи рулетки. Мало того, карты, полученные от

GPS разного типа, хотя и одной компании Garmin, тоже отличаются друг от друга (см. рис. 1). Отличия в форме «колонии», хотя и гораздо меньшие, чем при малых расстояниях, имеются и при расстояниях 2 – 10 м между объектами (см. рис. 2).

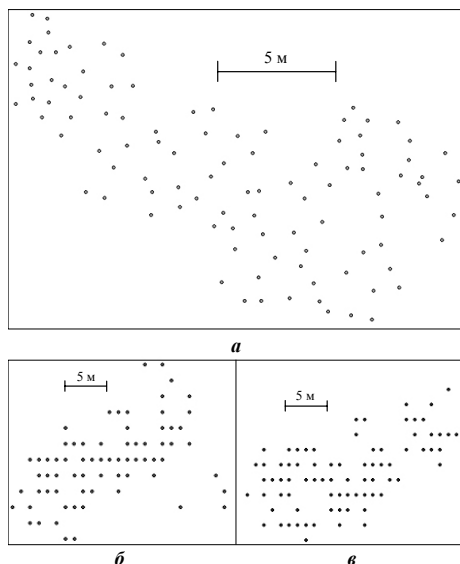


Рис. 1. Карты экспериментальной площадки из 102 точек при расстояниях между точками 0.5 – 2 м: *а* – карта снята при помощи рулетки; *б* – при помощи GPS Garmin-12XL; *в* – при помощи GPS Garmin-72. Масштаб указан в метрах

ская ошибка (а значит, разброс данных) при таких расстояниях между точками у обоих GPS в 10 раз больше, чем у рулетки.

Для расстояний 2 – 10 м между вешками (80 вешек): 1) по карте, снятой при помощи рулетки, – 490.98 ± 9.2 см; 2) при помощи Garmin-12XL – 434.26 ± 16.8 см; 3) при помощи Garmin-72 – 397.6 ± 18.4 см. Здесь хорошо видно, что: 1) расстояния, полученные разными методами, заметнее отличаются, чем в случае 0.5 – 2 м; 2) у обоих GPS статистическая ошибка при таких расстояниях между точками только в 2 раза (а не в 10) больше, чем у рулетки. При этом различия между всеми расстояниями здесь получились достоверными или близкими к достоверности: 1) между Garmin-12XL и Garmin-72 – Mann – Whitney – $Z = 1.89$, $P = 0.058$; 2) между Garmin-12XL и рулеткой – $Z = 3.01$, $P = 0.003$; 3) между Garmin-72 и рулеткой – $Z = 4.7$, $P < 0.001$.

Сравнив среднее расстояние до ближайшего соседа, оценим тип распределения точек на обеих площадках. При расстояниях 2 – 10 м распределение точек, несмотря на достоверную разницу в среднем минимальном расстоянии, получилось одинаковым – достоверно равномерное: 1) при картировании рулеткой коэф-

Однако сам вид карты колонии в большинстве исследований имеет лишь иллюстративный характер. Более значимыми являются количественные характеристики: среднее расстояние до ближайшего соседа («среднее минимальное расстояние») и тип распределения гнезд. Сравним эти характеристики у более точной карты и двух GPS карт.

При разбросе расстояний между вешками в пределах 0.5 – 2 м среднее минимальное расстояние между ними составляет: 1) по карте, снятой при помощи рулетки, – 81.61 ± 2.04 см; 2) при помощи Garmin-12XL – 89.5 ± 19.1 см; 3) при помощи Garmin-72 – 96.4 ± 23.3 см. Бросаются в глаза довольно близкие значения среднего минимального расстояния в группе объектов, полученных разными методами. Действительно, различия между средними минимальными при расстояниях 0.5 – 2 м, сравненные по критерию Манн – Уитни (Mann – Whitney), при всех сочетаниях были недостоверны. Также заметно, что статистическая ошибка (а значит, разброс данных) при таких расстояниях между точками у обоих GPS в 10 раз больше, чем у рулетки.

коэффициент Кларка – Эванса (Clark, Evans, 1954) составляет $R = 1.54$, $P < 0.001$; 2) по данным Garmin-12XL – $R = 1.35$, $P < 0.001$; 3) по данным Garmin-72 – $R = 1.15$, $P = 0.011$. При расстояниях 0.5 – 2 м распределение точек по данным рулетки равномерное ($R = 1.33$, $P < 0.01$). По данным обоих GPS – групповое (Garmin-12XL: $R = 0.56$, $P < 0.001$; Garmin-72: $R = 0.51$, $P < 0.001$).

Картирование колоний таймырских серебристых чаек. Карты колонии из 14 гнезд, снятые рулеткой и Garmin 12XL, несколько отличны между собой (рис. 3). Некоторые характеристики колонии, снятые обоими методами, действительно были схожи: минимальное расстояние между гнездами по GPS – 192 см, по измерениям рулеткой – 215 см; длина колонии по GPS – 31.5 м, при измерениях рулеткой – 35 м. Однако среднее расстояние до ближайшего соседа GPS-картирование указало как 500.0 ± 62.2 см, измерения рулеткой – 589.2 ± 57.7 см, хотя различие недостоверно ($Z = 1.13$, $P = 0.26$). Распределение гнезд по карте, составленной на основании метода треугольников, оценено как достоверно равномерное ($R = 1.36$, $P = 0.028$), по данным GPS-картирования – случайное ($R = 1.23$, $P = 0.12$). Тут необходимо отметить, что даже при GPS-картировании распределение отклоняется от случайного в сторону равномерного ($R > 1$), хотя и недостоверно.

Комбинированное использование GPS и рулетки. В смешанной колонии серых гусей и обыкновенных гаг на о. Большой Айнов гнезда располагались друг от друга на расстоянии от 63 см до 160 м. Если расстояние между гнездами было менее 10 м, то дополнительно к снятию GPS-координат расстояние между гнездами промерялось рулеткой. Затем по полученным GPS-координатам также вычислялось расстояние между точками. Затем сравнили среднее минимальное расстояние между гнездами в колонии для случаев: 1) когда малые расстояния не были заменены на измерения рулеткой; 2) когда такая коррекция была проведена.

Подправлено рулеткой было 100 коротких расстояний. Среднее из этих расстояний в том случае, если они были измерены GPS, – 619.4 ± 34.6 см, измеренные рулеткой – 553.4 ± 26.8 см. Разница между этими значениями недостоверна ($Z = 1.16$, $P = 0.24$). Теперь посмотрим, как сказалось уточнение расстояний рулеткой на значение среднего расстояния до ближайшего соседа для всей колонии. В данной смешанной колонии было 495 гнезд, среднее минимальное расстояние в случае, если рулетка не использовалась, составляло 1933.2 ± 94.7 см, при коррекции малых

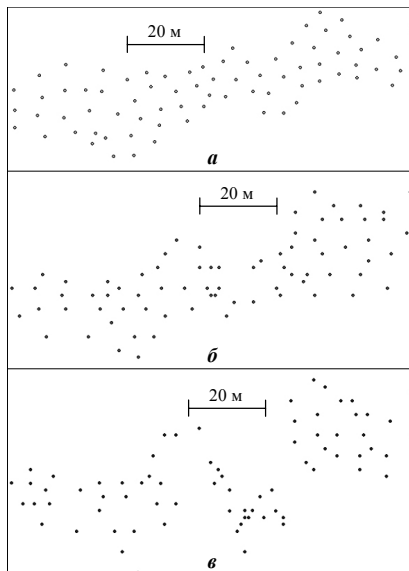


Рис. 2. Карты экспериментальной площадки из 80 точек при расстояниях между точками 2 – 10 м: а – карта снята при помощи рулетки; б – при помощи GPS Garmin-12XL; в – при помощи GPS Garmin-72. Масштаб указан в метрах

расстояний рулеткой – 1927.9 ± 94.8 см. Такое различие позволяет сделать даже более сильное заключение – эти значения практически достоверно не отличаются друг от друга ($Z = 0.075$, $P = 0.94$).

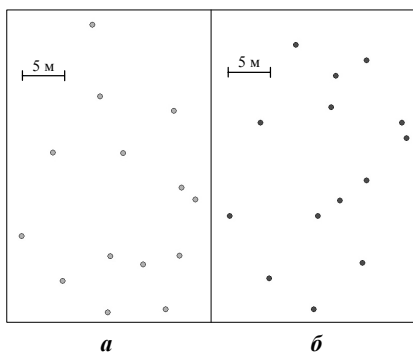


Рис. 3. Карта колонии таймырских серебристых чаек на островке Карского моря: *а* – карта снята при помощи рулетки; *б* – при помощи GPS Garmin-12XL.

Масштаб указан в метрах

Масштаб указан в метрах
в колонии белощеких казарок о. Колгуев расстояние между гнездами варьировалось в пределах 7.5 – 16.5 м. Разница в величине измерений между GPS и рулеткой достигала почти 2-х крат. Тем удивительнее, что в таких малых выборках среднее расстояние отличалось крайне мало, менее чем на 6%: для рулетки – 10.50 ± 0.69 м, для GPS – 11.14 ± 0.99 м. Недостоверна не только разница между этими средними ($Z = 0.25$, $P = 0.8$), не отмечено даже различия между дисперсиями ($F = 2.05$, $P = 0.21$).

Распределение гнезд этого поливидового поселения, вычисленное для случая, когда расстояния между гнездами снято только GPS и не подкорректировано рулеткой, было групповое ($R = 0.634$, $P < 0.001$). Если расстояния менее 10 м скорректировать по измерениям рулеткой, то тип распределения также групповой ($R = 0.632$, $P < 0.001$). Как видно из этих цифр, различие в коэффициенте Кларка – Эванса здесь составляет всего 0.002, то есть различий фактически нет.

Интересно, что подобные результаты дало использование даже менее точного GPS Garmin-eTrex Venture Cx, который имеет ошибку измерения в несколько метров. В 14 измеренных расстояниях между гнездами в

ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из приведенных результатов, положение точек, снятых разными GPS, несколько отличается: при расстояниях 0.5 – 2 м данные одного GPS систематически смещены относительно другого. При этом у обоих GPS то же самое гнездо почему-то получилось далеко отстоящим от остальных, хотя в действительности это не так (см. рис. 1). Судя по различию в средних минимальных расстояниях для 0.5 – 2 м получается, что данные от Garmin-12XL точнее, чем у Garmin-72, хотя Garmin-72 – более поздняя модель, заменившая 12XL. Подобное отмечали и другие орнитологи (К.Е. Литвин, устное сообщение). Тем не менее, в этом плане большой проблемы не видится, поскольку уже выпускаются GPS следующего поколения, более точные, чем оба тестируемых здесь, например Garmin GPSmap 60CSx. Однако наша задача – не выяснить точность конкретной модели навигатора, а понять возможность использования GPS вообще при изучении пространственно-экологической структуры колоний.

При увеличении расстояний между вешками от 0.5 – 2 м до 2 – 10 м статистическая ошибка при таких расстояниях между точками на карте, снятой GPS, стала уже только в 2 раза больше, чем у рулетки, а не 10 раз, как в случае расстояний

0.5 – 2 м. Это означает, что разброс данных от рулетки при увеличении расстояний также увеличивается. Это говорит об уменьшении точности рулетки из-за мелких неровностей местности. При увеличении расстояний между точками (гнездами) ошибка GPS имеет все меньшее значение, а у рулетки ошибка нарастает. Видимо, этим и объясняется достоверность различий средних минимальных расстояний между точками на тестовых картах, снятых разными способами. Однако на практике условия обычно не столь жесткие, как в тесте. Разброс расстояний бывает больше, и в реальных природных ситуациях разницы оказались недостоверны (примеры с таймырскими серебристыми чайками и колонией гаг и серых гусей). Наша проверка показала, что если выборка большая (большими выборками в статистике считаются выборки из 30 и более объектов (Лакин, 1973)), то при малых и даже очень малых расстояниях между точками применять GPS для получения среднего минимального расстояния можно.

Если расстояния между гнездами более 7.5 м (как в рассмотренной колонии белошеких казарок), то для получения средних расстояний использовать рулетку необязательно, даже при использовании менее точных GPS-навигаторов. Каждое конкретное расстояние при этом, безусловно, не является точным. Однако при вычислении средних расстояний даже для небольших выборок систематические ошибки каждого расстояния взаимно нивелируются, точность средних значений значительно повышается.

Интересно отметить, что искажения карт, получаемых разными типами GPS, весьма сходны как при очень малых, так и при несколько больших расстояниях (см. рис. 1, 2). Если случайного разброса точек у разных типов прибора не видно, это лишь показывает, что ошибки GPS в большей степени систематические, чем случайные. Причем, эти ошибки имеют место на расстояниях, гораздо меньших, чем указано на шкале этих приборов как «точность». Подобные явления говорят о том, что точность GPS в самом деле выше, чем это указывается на приборе. Действительно, нами уже отмечалось ранее (Харитонов, 2007 а), что реальная ошибка GPS меньше, чем указано на дисплее как «точность». При этом подчеркиваем, что речь идет о «нормальной» работе GPS, то есть когда спутники не дают специальную наведенную ошибку. Такое случается, хотя и очень редко. В нашей работе были отдельные случаи, когда снятые в разные дни координаты могли давать разницу в 15 м. Чтобы избежать этого, необходимо при картировании близко друг к другу расположенных точек всю заданную их совокупность картировать в один день, и чем быстрее, тем лучше. Если и будет поступать наведенная ошибка – то такая ошибка систематическая, она смещает координаты всех точек. Координаты всех точек при этом будут менее верные, но относительно друг друга они будут расположены так же, а именно это и требуется при построении карты колоний. На практике типовая точность (имеется в виду точность без специально наводимой спутниками ошибки) GPS марок Garmin-12XL и Garmin-72 в режиме 3D (3-мерного снятия координат) по широте равна 0.001 минуты, что составляет 1.85 м. По долготе ошибка по расстоянию может быть даже меньше. Например, на широте пос. Диксон (западный Таймыр), ошибка долготы была 0.002 минуты, что в расстоянии означало всего 1.08 м. Такая, в реальности малая ошибка GPS как раз и

дает возможность использовать GPS «тонких работ», а именно – для повторного нахождения даже сильно замаскированных гнезд птиц.

Примеры с картами вешек (см. рис. 1 – 3) хорошо показывают, что для решения поставленных вопросов нам не столь важно конкретное положение гнезд на карте. Из того, что пространственное расположение гнезд в колонии обычно имеет меньшее значение, нежели численные характеристики этого расположения, следует один важный момент: ради получения более точного среднего минимального расстояния мы можем искусственно немного изменить расположение точек (гнезд) на карте. Эту процедуру можно назвать «разнесением» гнезд. Если точки расположены на малом расстоянии друг от друга, а GPS дает одинаковые координаты этих точек, на карте эти точки разносим на расстояние, равное половине ошибки GPS. Используется именно половина, а не целая ошибка, поскольку при смещении на целую ошибку разносимая точка может совпасть с другой соседней точкой, чьи координаты отличаются как раз на ошибку GPS. В качестве ошибки GPS удобнее взять усредненную ошибку из ошибки долготы и широты. Если ошибка широты 1.85 м, максимальная ошибка долготы тоже 1.85 м, то максимальное расстояние разнесения точек будет 92.5 см ($1.85 + 1.85$ разделить на два – будет усредненная ошибка GPS, затем еще раз делим на два, чтобы получить половину этой ошибки). Если ошибка долготы меньше 1.85 м, меньше получится и расстояние разнесения. Положение разносимой точки выбирается искусственно, предлагается ставить ее в направлении неких стандартизированных азимутов от прежнего положения данной точки. Если координаты двух точек совпадают, то разносимую точку мы ставим на 135° от ее прежнего положения. Если координаты одинаковы у трех точек, первую разносимую помещаем на 135° , вторую – на 315° . В случае совпадения координат у 4-х точек, третью разносимую мы помещаем на 45° от ее первоначального положения. После такой процедуры надо вновь вычислить площадь колонии и определить распределение точек. Оценка последнего станет ближе к истинному распределению точек.

Проиллюстрируем это на примере тестовой площадки. Возьмем карту, где точки расположены в 0.5 – 2 м друг от друга и координаты сняты Garmin-12XL (см. рис. 1, в). Сначала необходимо ликвидировать явные отклонения, в нашем случае – просто убрать «выскакивающие гнездо», которое почему-то получилось в стороне от колонии, причем на обоих GPS (см. рис. 1, 2). Далее разнесем совпадающие гнезда. После этих процедур распределение точек оценивается уже не как групповое, а как случайное ($R = 1.01$, $P = 0.89$).

Случайное распределение ближе к равномерному, чем групповое. Однако и это не полностью соответствует действительности. Отсюда получается, что при расстояниях между точками 0.5 – 2 м для оценки распределения нельзя использовать ни малую, ни большую выборки. На наше счастье, в природе такие ситуации достаточно редки. Примером могут служить колонии морского голубка, где расстояние между гнездами всего несколько десятков см. Для картирования таких колоний применять GPS нельзя.

Вернемся к полученному случайному распределению точек после коррекции карты (см. рис. 1, в). Также рассмотрим карту колонии таймырских серебристых

чаек (см. рис. 3), где расстояния между гнездами больше, чем в тестовой выборке. В обоих случаях реальное распределение объектов – равномерное, а распределение, полученное на основании GPS-координат, оценивается как случайное. Можно сказать, что при малых расстояниях между объектами использование GPS нивелирует реальные отличия распределения от случайного. Однако при расстояниях 2 – 10 м между точками такое происходит не всегда. Если выборка большая ($N \geq 30$), то при этих расстояниях применять GPS можно не только для оценки среднего минимального расстояния, но и распределения гнезд. Так показал тест по карте на рис. 2. Даже при разнице в средних минимальных (они все равно будут несколько разные у разных типов GPS) разные методы показывают один и тот же тип распределения.

Для случаев, когда расстояния между точками 2 – 10 м, а выборка мала, как в случае колонии таймырских чаек, при получении оценки, что распределение «случайное», реально никаких выводов сделать нельзя. Тем не менее, для случая малых выборок мы предлагаем математический прием, позволяющий в ряде случаев все же определить тип распределения точек, если он действительно отличается от случайного. Для этого создается 10 карт исследуемой совокупности точек, где положение каждой точки каждый раз задается случайно при помощи программы – генератора случайных чисел. Положение каждой точки генерируется в пределах методической ошибки GPS во всех направлениях от каждой точки (3.7×3.7 м). Если ошибки по широте и долготе разные, то положение каждого гнезда генерируется в пределах не круга, а эллипса. Если распределение гнезд хотя бы в одной из 10 сгенерированных колоний будет отличаться от случайного, то отличие от случайного признается реальным. Если все 10 останутся случайными – принимается оценка как «случайное».

Для рассматриваемой колонии таймырских серебристых чаек вполне хватило 6 сгенерированных колоний, чтобы в одной из них оказалось равномерное распределение. При этом среднее минимальное расстояние в такой искусственной колонии получилось 534.9 ± 55.7 см, $R = 1.32$, $P = 0.04$. Как видим, коэффициент Кларка – Эванса почти не отличается от реального ($R = 1.35$), а среднее минимальное расстояние значительно ближе к реальному, чем по GPS-координатам. Поэтому такие, хотя и искусственно полученные, но на практике расположенные ближе к действительным характеристики совокупности гнезд мы бы рекомендовали использовать в дальнейшем анализе.

Ситуация, когда имеющуюся ошибку мы «усиливаем» введением дополнительной случайности, а в результате получаются более точные данные, кажется парадоксальной, поэтому требует пояснения. В самом деле, такой процесс восприятия информации работает в сложных системах, усиливая возможности восприятия. Например, у современных компьютерных твердых дисков (винчестеров) плотность записи информации такова, что считывающие устройства не могут ее прочесть однозначно. Поэтому используется метод вероятностного чтения с получением нескольких образов, дальнейшим усреднением и проверкой соответствия прогнозу или эталону (так называемой метод PRML – «частичное определение – максимальное правдоподобие»). В результате считываемая информация получает-

ся точной, как и требуется в компьютерах (Мюллер, 2004). В нашем случае с колонией введение дополнительных вероятностных положений гнезд дает возможность произвести несколько получаемых «образов», которые проверяются на соответствие «эталону»: ожиданию равномерного распределения гнезд.

При картировании колоний иногда имеется еще одна сложность – случай, если гнезда в колонии расположены не в одной плоскости. Особенностью колоний озерных чаек и черношейных поганок в Челябинской области являлось наличие плотных скоплений гнезд, где было 2 – 3 гнезда в одном месте, при этом одно гнездо могла находиться прямо под другим (обычно сверху – озерная чайка, снизу – черношейная поганка). При анализе таких колоний выхода два: либо оставлять два гнезда в одной точке, либо верхнее гнездо переводить в плоскость аналогично описанному выше разнесению гнезд из одной точки, то есть вертикальное расстояние между гнездами сделать горизонтальным, беря как азимут все те же 135° .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Если нужна точная карта колонии, то при малых расстояниях между гнездами (до 2 м) необходимо пользоваться только рулеткой.

2. Если малых расстояний (менее 10 м) в колонии относительно немного (не более одной пятой, возможно – четверти), а выборка большая (более 30 гнезд), то при картировании такой колонии использовать рулетку не обязательно. Можно пользоваться только GPS, полученные данные вполне годятся для определения и среднего расстояния до ближайшего соседа, и типа распределения гнезд.

3. Если сама карта колонии имеет меньшее значение, но важно получить среднее минимальное расстояние и тип распределения, то при расстояниях между точками 0.5 – 2 м карту по GPS-координатам можно использовать для оценки среднего минимального расстояния между гнездами, однако ни малые, ни большие выборки при таких расстояниях нельзя использовать для оценки распределения гнезд.

4. При расстояниях между точками более 2 м карту по GPS-координатам можно использовать для оценки среднего минимального расстояния между гнездами и в малых, и в больших выборках.

5. При расстояниях между точками 2 – 10 м карту по GPS-координатам, если выборка мала (< 30 гнезд), нельзя использовать для оценки распределения между гнездами. Однако для малых выборок предлагается математический прием, позволяющий все же определить тип распределения точек, если он действительно отличается от случайного. Для этого при помощи генератора случайных чисел необходимо сгенерировать 10 искусственных колоний, где положение каждого гнезда будет варьироваться в пределах ошибки GPS. Если распределение гнезд хотя бы в одной из 10 сгенерированных колоний будет отличаться от случайного, то заключение об отличии распределения гнезд от случайного принимается.

В целом для определения среднего минимального расстояния между гнездами годится и GPS, и рулетка. Оба эти инструмента имеют свои погрешности. По мере нарастания расстояний между гнездами ошибка GPS имеет все меньшее значение для вычислений, а ошибка рулетки нарастает и сказывается все сильнее.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GPS-НАВИГАТОРА ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ КОЛОНИЙ ПТИЦ

Авторы благодарят администрации и сотрудников заповедников «Большой Арктический» и Кандалакшский за обеспечение возможности проводить исследования на их территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Земитис Л. А. Использование микрокалькулятора «Электроника БЗ-34» для обработки результатов орнитологических исследований // Кольцевание и мечение животных, 1983 – 1984 годы. М. : Наука, 1987. С. 69 – 80.

Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1973. 343 с.

Мюллер С. Модернизация и ремонт ПК. М. ; СПб. ; Киев : Изд. дом «Вильямс», 2004, 1340 с.

Савицкий Р. М. Опыт использования методов GPS для картирования колоний птиц // Методы и теоретические аспекты исследований морских птиц : материалы V Всерос. школы по морской биологии. Ростов н/Д : Изд-во Юж. науч. центра РАН, 2007. С. 151 – 152.

Харитонов С. П. Компьютерная программа «Карта колонии», исполняемый файл – colonmap.exe. М., 1999.

Харитонов С. П. Метод «ближайшего соседа» для математической оценки распределения биологических объектов на плоскости и на линии // Вестн. Нижегород. ун-та им Н. И. Лобачевского. Сер. биол. 2005. Вып. 1 (9). С. 213 – 221.

Харитонов С. П. Изучение пространственного распределения гнезд в колонии // Методы и теоретические аспекты исследований морских птиц : материалы V Всерос. школы по морской биологии. Ростов н/Д : Изд-во Юж. науч. центра РАН, 2007 а. С. 83 – 104.

Харитонов С. П. Изучение структуры колоний околотовных птиц // Методы и теоретические аспекты исследований морских птиц : материалы V Всерос. школы по морской биологии. Ростов н/Д : Изд-во Юж. науч. центра РАН, 2007 б. С. 122 – 147.

Харитонов С. П., Волков А. Е., Виллемс Ф., Клейф Х. ван, Клаассен Р. Х. Г., Новак Д. Е., Новак А. И., Бубличенко А. Г. Колонии черных казарок возле белых сов : расстояния между гнездами в зависимости от численности леммингов и песцов // Изв. РАН. Сер. биол. 2008. № 3. С. 313 – 323.

Харитонов С. П., Новак Д. Е., Новак А. И., Егорова Н. А., Коркина С. А., Осипов Д. В., Натальская О. В. Колонии краснозобых казарок на Таймыре : факторы, обуславливающие близость гнезд казарок к гнездам сапсанов, зимняков и белых сов // Изв. РАН. Сер. биол. 2009. № 5. С. 559 – 568.

Чухарева И. П., Харитонов С. П. О пространственной структуре поливидовых колоний, основанных чайковыми птицами, на водоемах Южного Зауралья // Поволж. экол. журн. 2009. № 3. С. 238 – 248.

Clark P. J., Evans F. C. Distance to the nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations // Ecology. 1954. Vol. 35, № 4. P. 445 – 453.