

УДК 574.9:639.1.053

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗИМНИХ МАРШРУТНЫХ УЧЕТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPS И ДИСТАНЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

© 2010 Пузаченко Ю.Г.¹, Желтухин А.С.², Сандлерский Р.Б.^{1,2}

¹ – Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, 119071 Москва, Ленинский пр-т, 33, puzak@orc.ru

² – Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник 172513, Тверская область, Нелидовский район, п/о Заповедник, azheltukhin@mail.ru

Статья посвящена проблемам организации ЗМУ с использованием GPS-навигаторов, дистанционной информации (ДДЗ) и цифровых моделей рельефа (ЦМР). Рассмотрены возможные источники ошибок и искажений. На примере материалов двух учетных дней демонстрируются все этапы организации и обработки ЗМУ с использованием GPS, ДДЗ и ЦМР: объединение данных в ГИС и базах данных, планирование маршрутов, подготовка данных для обработки и анализ данных методами дискриминантного анализа и нейронных сетей. Продемонстрирована возможность интерполяции встречаемости следов на маршрутах на всю территорию, получая в конечном итоге видовые карты пригодности местообитаний, а также возможность оценки емкости угодий для вида.

Ключевые слова: *оценка численности, емкость угодий, встречаемость, интерполяция, ЗМУ, GPS, ГИС, ДДЗ, ЦМР*

WINTER ROUTE TRACKING WITH GPS AND REMOTE SENSING

© 2010 Yu.G. Puzachenko¹, A.S. Zheltukhin², R.B. Sandlerkiy^{1,2}

¹ - A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, 119071, Moscow, Leninsky prospect, 33, puzak@orc.ru

² - Central Forest State Nature Biosphere Reserve, 172521, Tver region, Nelidovskiy district, Zapovednoe, azheltukhin@mail.ru

The report is concerned with issue of winter route tracking (WRT) organisation with using GPS devices, remote sensing information (RSI) and digital elevation models (DEM). We have considered main sources of errors and distortions. In case study we demonstrate two tracking days with all stages of organisation and data processing of WRT using GPS. RSI and DEM: joining data within GIS and database, route planning, preprocessing and analysis using methods of discriminant analysis and neural networks. We demonstrate capability of interpolation of animal traces occurrence en route onto whole territory. As a result we design maps of habitat fitness for every studied specie as well as habitat capacity for specie.

Keywords: *estimate of population, habitat capacity, occurrence, interpolation, WRT, GPS, GIS, RSI, DEM*

Методика зимнего маршрутного учета (ЗМУ) была разработана на базе Окского заповедника В.П. Тепловым и С.Г. Приклонским и внедрена в практику контроля численности охотничье-промысловых животных в 1964 г. (Первый опыт..., 1965). В основе этой технологии заложен опыт учетов животных и обсуждение соответствующих методик, разработанных на базе заповедников в 50 – 60-х годах прошлого века под общим руководством А.Н. Формозова, П.Б. Юргенсона, Ю.А. Исакова и других ведущих зоологов России. Зимние маршрутные учеты стали основным средством контроля численности животных обширной территории России. Разработанная в 60-х годах технология обеспечивала государственную статистику на протяжении полувека и в последней инструкции 2009 года практически не претерпела принципиальных изменений. В соответствии с положением, ЗМУ рекомендуется проводить ежегодно по одним и тем же маршрутам, обычно привязанным к лесным дорогам и квартальной сети, допускается замкнутый и ломанный маршрут. Привязка следов к местности осуществляется в основном визуально по топографической карте и квартальной сети и рекомендуется, если есть возможность, использовать GPS навигатор. Расчет численности осуществляется по формуле Перелешина, эмпирически проверенной С.Г. Приклонским (1965). Начиная с первых лет проведения зимних учетов большое внимание уделялось правилам размещения маршрутов, получению надежных данных по средней длине суточного хода и оценкам нормы учетов для регионов, как необходимого условия интерполяции результатов конкретных учетов численности животных на обширные территории при расчетах запасов охотничье-промысловых видов обширных территорий.

Краткий обзор проблем ЗМУ

На протяжении всего периода реализации технологии ЗМУ многократно обсуждалась проблема качества моделей, используемых для расчета численности и оценок ошибок измерения. Наиболее строгий формальный анализ этой проблемы был осуществлен Н.Г. Челенцовым (1983). Можно констатировать, что принятая Перелешиним модель опирается на задачу, решаемую в рамках геометрической вероятности (задача Бюффона): «число пересечений случайно размещенной любой по форме линии произвольными параллельными прямыми» (Кендалл М., Моран П., 1972):

$$Z = \pi s / 2ml,$$

где Z – число зверей на территории 1 кв. км, s – число пересеченных следов, m – протяженность маршрута в км, l – длина суточного хода. Поправочный коэффициент, подтвержденный эмпирически $K = \pi/2 = 1.57$.

Используя небольшой, но довольно репрезентативный материал С.Г. Приклонского (1965) – 24 схемы, определенных на местности суточных ходов лесной куницы, горностая, кабана, зайцев беляка и русака получаем следующие статистические оценки: по тесту Колмогорова-Смирнова с вероятностью больше 0.2 распределение поправочных коэффициентов нормальное со средним 1.56875, медианой 1.570000, стандартным отклонением 0.122521, со среднеквадратической ошибкой 0.02501, минимумом – 1.36, максимумом – 1.84, с нижней квантилей – 1.475 и верхней – 1.645. В.А.Кузякин (1983), моделируя зимние учеты получил сходные результаты. Таким образом, есть основания полагать, что пересчетный коэффициент не может быть существенным

источником ошибок и искажений. Теоретически, принятая модель будет вносить искажения, если следовые суточные ходы размещаются по территории почти строго регулярной последовательностью и маршруты не образуют систему близкую к параллельным линиям.

Большой вклад в оценку численности вносит длина суточного хода животного. Очевидно, что этот видовой показатель весьма лабилен и существенно зависит от погодных условий и, в меньшей степени, от структуры территории. В очень многоснежные зимы кабан, лось, косуля, олени в течение длительного времени могут не покидать участки с хорошим запасом кормов в несколько гектар, практически не давая следов. Но в среднем длина суточного хода есть функция от размера особей и описывается аллометрическими зависимостями (Шмидт-Ниельсен, 1987, Пузаченко, Звенигородская, 1988):

$$\begin{aligned} \text{для хищников } l &= 3.877M^{0.22}, \\ \text{прочие млекопитающие } l &= 0.875M^{0.22}, \end{aligned}$$

M – масса в кг, l – длина суточного хода в км.

В таблице 1 приведены некоторые оценки длины суточного хода. Материалы приведенные И.П. Даниловым (2007) позволяют оценить относительную ошибку протяженности суточного хода для большинства видов. Очевидно, что оценки суточного хода через вес довольно близки к оценкам по Данилову и полученным в заповеднике. Только суточный ход лоса в 1.5-2.5 раза меньше длины определяемой по аллометрической зависимости. Оценки суточного хода лисы в заповеднике существенно больше, чем по аллометрической зависимости и по Данилову, а черного хоря существенно меньше. Приведенные ошибки относятся к конкретным измерениям суточного хода за несколько временных интервалов в конкретных условиях. Очевидно, что их вклад в оценку поголовья будет достаточно высок. Собрать материалы, необходимые для расчета средней длины суточного хода для различных типов погодных условий в разных регионах не простая задача. В инструкции по ЗМУ (Приклонский, 1972) и ее последующих модификациях приводятся весьма противоречивые и трудно реализуемые методики тропления. Так как средняя длина суточного хода применительно к конкретным условиям весьма неопределенна, а ее вклад в оценку поголовья животных весьма высок, то эту тему нужно отнести к особой задаче, не включаемый в предложенную работу. Можно полагать, что широкое применение GPS-навигаторов в ближайшие пять-десять лет даст надежную информацию по этому важному для науки и практики параметру и позволит разработать региональные нормативы, учитывающие время учетов, погодные условия и плотности животных.

В различных вариантах методических указаний по проведению ЗМУ рекомендуемая длина одного маршрута составляет 8-12 км. В соответствии с последней версией инструкции “Маршрут может быть как однонаправленным, так и замкнутым (в виде овала или прямоугольника), исходя из удобства его прохождения. Если маршрут однонаправленный, но не прямолинейный, то он должен состоять из прямолинейных отрезков, углы между соседними отрезками должны быть не менее 90°.” (Методические рекомендации... 2009). Замкнутый маршрут более соответствует реальным возможностям проведения учета в короткий зимний день, но не удовлетворяет требованиям, определяемым вероятностной моделью. Размещение маршрутов существенно влияет на интерполяцию результатов. Формально они должны размещаться случайно.

Табл.1 Оценки длины суточного хода

Вид	Расчет через вес		Суточный ход (км) по данным заповедника	По Данилову И.П. (2007)	
	Вес, кг	Суточный ход (км)		Суточный ход (км)	Средняя ошибка %
Лось	200.000	2.807	1.8	1.060	8.75
Кабан	120.000	2.509	2.8	3.4	
Заяц-беляк	3.000	1.114	1.2	1.180	7.0
Белка	0.300	0.671	0.3		
Лиса	8.000	6.126	7.8	5.73	2.24
Куница	1.500	4.239	5.1	6.16	21.1
Черный хорь	1.000	3.877	1.5	4.0	9.5
Горностай	0.250	2.858	2.5	1.750	20.4

Однако в инструкции рекомендовано размещать их равномерно с определенной избирательностью, чтобы захватывать пропорционально три основных типа угодий (леса, поля, болота). Во многих регионах России большинство территорий в течение одного дня недоступны, даже на снегоходах. В результате учетные маршруты концентрируются вблизи населенных пунктов. В соответствии с инструкцией “Проведение ЗМУ нецелесообразно на территориях, где звери отсутствуют, очень редки или угодья в зимнее время для учетчиков недоступны. Эти территории должны быть исключены из учетных работ. Указанные площади исключаются также из порайонной экспликации охотничьих угодий и, соответственно, из расчетов численности. Численность на этих территориях определяется, в основном, экспертно”. В этом положении, очевидно, заложены реальные противоречия между желаемым и возможным, а предложенный подход к их разрешению весьма неопределен.

Влияние размещения выборки на результат хорошо известно и при использовании предлагаемой в инструкции схемы размещения маршрутов достижение постулируемой 10% точности весьма проблематично. Более того, среднеквадратическая ошибка при регулярной схеме закладки маршрутов для большой территории вообще не имеет смысла. Есть одна проблема, которую все знают, но не рассматривают в силу ее неразрешимости: это закладка маршрутов по лесным просекам и дорогам, при этом предварительно прочищенным. Очевидно, что просеки используются многими видами животных для передвижения и, вообще, притягивают к себе и млекопитающих и птиц большим, чем в ненарушенном лесу разнообразием местообитаний. Какое возмущение вносят лесные дороги и просеки в результаты учета – неизвестно. Появление GPS навигатора позволяет провести соответствующие исследования для коррекции результатов учета по просекам и лесным дорогам.

В заключение обзора проблем зимнего учета необходимо отметить, что среднеквадратическая ошибка в 10% не может рассматриваться как самоцель. Требования к величине ошибки определяется уровнем экономики хозяйства. Если на основе учета определено число особей какого-либо вида как $N \pm m$, то это означает, что реальное значение поголовья лежит с некоторой вероятностью в интервале dN . При расчетах отстрела оперируют с ее средней оценкой. Соответственно при норме отстрела, определяемой по известной зависимости, в основе которой лежит вероятностная модель $p = \frac{e^r - 1}{e^r}$, где p – норма отстрела, r – мальтузианский коэффициент размножения, может быть отстрелено число особей не нарушающих воспроизводимость популяции, больше чем допустимо или, напротив, будет не использован весь урожай и хозяйство понесет экономические потери (Уатт, 1971). Чем меньше ошибка, тем меньше риск неадекватных решений. Но чем ниже ошибка, тем выше затраты на проведение учетов. При этом затраты на учеты есть экспоненциальная функция от ошибки: затраты = $a/\exp$ (ошибка в долях от среднего). Желаемая ошибка учета, не влияющая на воспроизводство популяции, может быть оценена на основе динамики показателей численности реальных временных рядов. При этом допускается, что часть колебаний связана с действием каких-либо внешних или внутривидовых сил, а другая связана с ошибкой учета и случайными флуктуациями, в том числе и в результате варьирования длины суточного хода. Оценка ошибки необходима для управления динамикой популяции, то есть

детерминированной ее частью. На фоне случайного «шума», нужно оценить снижается или увеличивается численность популяции. Если она увеличивается, то можно собрать больший урожай, а если снижается, то необходимо или уменьшить отстрел, или применить компенсирующие биотехнические мероприятия, или и то, и другое. Детерминированную часть варьирования можно оценить по модели авторегрессии в программе TableCurva 2 или AutoSignal для временного ряда динамики численности длиной не менее 20 лет. Эта часть варьирования равна коэффициенту детерминации авторегрессионной модели умноженной на дисперсии. Остальная часть дисперсии может быть соотнесена со случайным процессом. Среднеквадратическую ошибку случайного процесса стандартным методом логично оценивать для $n=10$ лет наблюдений, как временным интервалом между ревизиями охотустройства. Так как случайное варьирование может в равной степени связано со случайной составляющей варьирования численности и случайностями, определяемыми в том числе, условиями конкретных учетов, то логично принять их равный вклад в результирующую ошибку. Тогда получаем интервал, в котором должна лежать ошибка учета, при которой можно надежно оценивать изменения детерминированной составляющей динамики численности. В таблице 2 приведены соответствующие оценки по материалам многолетних наблюдений в Центральном-Лесном заповеднике. В общем, очевидно, что приемлемая относительная ошибка должна лежать в интервале 10-20%.

В общем случае величина ошибки, влияющая на экономическую эффективность, определяется прибылью, получаемой от отстрела каждой особи, и ее расчет требует анализа экономики конкретного хозяйства. При постоянных нормах отстрела, не зависящих от поголовья, оценка ошибки вообще не нужна. Для регионального мониторинга допустима относительно большая ошибка по каждому хозяйству, так как относительная ошибка оценки поголовья пропорциональна $1/N^{0.5}$, где N – число хозяйств и в результате оценка региональной ошибки существенно ниже, чем в каждом субъекте учета.

Пути повышения качества интерполяции результатов учета на маршрутах.

Создание основы для интерполяции

Наиболее слабыми аспектами ЗМУ являются неопределенность и интерполяция результатов частных учетов на всю территорию хозяйства. Если допустить, что животные с некоторой вероятностью перемещаются по наиболее благоприятным для них местообитаниям и эти точки зафиксированы на местности, то имея информацию о пространственной структуре местообитаний можно было бы с измеримой ошибкой осуществить интерполяцию результатов на всю территорию с учетом соотношения разнокачественных местообитаний. Дистанционная информация, получаемая со спутников, позволяет решить эту задачу (Желтухин и др. 2008). В наибольшей степени для ее решения подходит информация, полученная со спутника Landsat. Спутник ведет съемку с 1974 года и представляет информацию в шести спектральных коротковолновых каналах и в одном длинноволновом канале он измеряет температуру поверхности. Над каждой точкой земной поверхности он появляется один раз в 26 дней. Съемка ведется с разрешением 0.030 км на местности, что соизмеримо с биогруппой деревьев и, скорее всего, с восприятием охотничье-промысловыми животными территории. Его каналы отражают состояние растительности, биологическую

Табл. 2 Оценка допустимой ошибки учета следов

Вид	N лет	Число следов на 10 км		Авто-регрессия		Случайная дисперсия	Ошибка за 10 лет %		Значимое отношение (R) результатов учетов между смежными годами	
		Среднее	Общая дисперсия	Порядок	R^2		Общая	Ошибка учета	t=2, p=0.95	t=3, p=0.99
Лось	34	2.52	3.42	3	0.62	1.30	15.08	10.66	1.30	1.45
Кабан	35	0.21	0.13	8	0.36	0.09	46.18	32.66	1.92	2.38
Заяц-беляк	34	12.66	55.62	6	0.21	43.94	17.44	12.33	1.35	1.52
Куница	32	4.70	9.51	3	0.37	5.99	17.34	12.26	1.34	1.52
Рысь	54	1.06	1.12	12	0.42	0.65	25.33	17.91	1.51	1.75

Табл. 3 Объем выполненной работы по ЗМУ в 2010 г.

Тип маршрута	Число маршрутов	Длина маршрутов (км)		
		16.02.2010	17.02.2010	Всего
С GPS	8	90	101	194
Без GPS	12	114	139	253
Всего	20	204	240	446

продуктивность, содержание влаги в растительности и, в целом, в экосистеме. Если вычислить соотношения разных каналов, то получаем новую информацию в виде индексов, отражающих различные свойства местообитаний. Физический смысл каналов и индексов подробно рассмотрен в работе, посвященной построению ландшафтных карт (фактически карт местообитаний) на основе дистанционной информации (Кренке, Пузаченко, 2008). Важно также и то, что данные со спутника можно бесплатно скачать с соответствующего сайта (<http://glovis.usgs.gov/>). Обычно за весь период съемки для каждой территории России можно получить несколько сцен за разные сроки. В южных регионах, где безоблачных дней относительно много, снимков, пригодных для рассматриваемых целей, несколько десятков. Для северо-западных районов страны их количество существенно меньше, но все-таки они есть для всей территории. Конечно, получаемые сцены за весь период съемки не полностью соответствуют текущему состоянию территории, но там, где эти изменения существенны, их можно скорректировать на основе действующих спутников с худшим для наших целей набором спектральных каналов, но с большой частотой съемки. Конечно, подготовка сцен Landsat для предлагаемого ниже анализа требует специальной работы с использованием программных средств Erdas Imagine Professional (Leica Geosystems) или ENVI. С помощью этих программ материал с сохранением географических координат каждой территориальной единицы съемки (пиксель) переводятся в формат пригодный для статистического анализа.

В определенной степени местообитание должно быть охарактеризовано и рельефом. Это могут быть оцифрованные крупномасштабные топографические карты, переведенные в растровый формат с разрешением спутника Landsat или данные радиометрической съемки рельефа со спутника (SRTM) разрешением 90 м, представленные в свободном доступе (<http://srtm.csi.cgiar.org/>). В программе Erdas они совмещаются со сценами Landsat. Так как рельеф иерархически организован (Пузаченко, Котлов, 2007), то его свойства должны отражаться для разных уровней. Иерархические уровни можно выделить обратным преобразованием Фурье. Для каждого уровня с помощью специальных программных средств (Erdas, ENVI, Surfer) рассчитывается крутизна поверхности, различные виды кривизны и освещенности склонов с юга и востока. Чтобы уменьшить число этих переменных они обобщаются методом факторного анализа. Эта информация в своей совокупности с максимально возможной полнотой отражает свойства местообитаний и является основой для интерполяции результатов ЗМУ. Конечно, из многих сцен надо отобрать те, которые в наибольшей степени отвечают зимним учетам. Практика Центрально-Лесного заповедника (Пузаченко и др. 2007, Желтухин и др. 2008, Пузаченко и др. 2009, Пузаченко и др. 2010) показывает, что для интерпретации ЗМУ наиболее пригодны сцены, снятые в зимне-весеннее время. Применение летних сцен возможно, но они дают более низкое качество интерполяции.

Таким образом, на основе дистанционной информации и трехмерной модели рельефа создается информационная база, отражающая свойства местообитаний. На рисунке 1.а в упрощенной форме показана карта типов местообитаний на основе дистанционной информации и свойств рельефа (рис.1.б). На эту факторную основу накладываются результаты учетов и по ней осуществляется интерполяция.

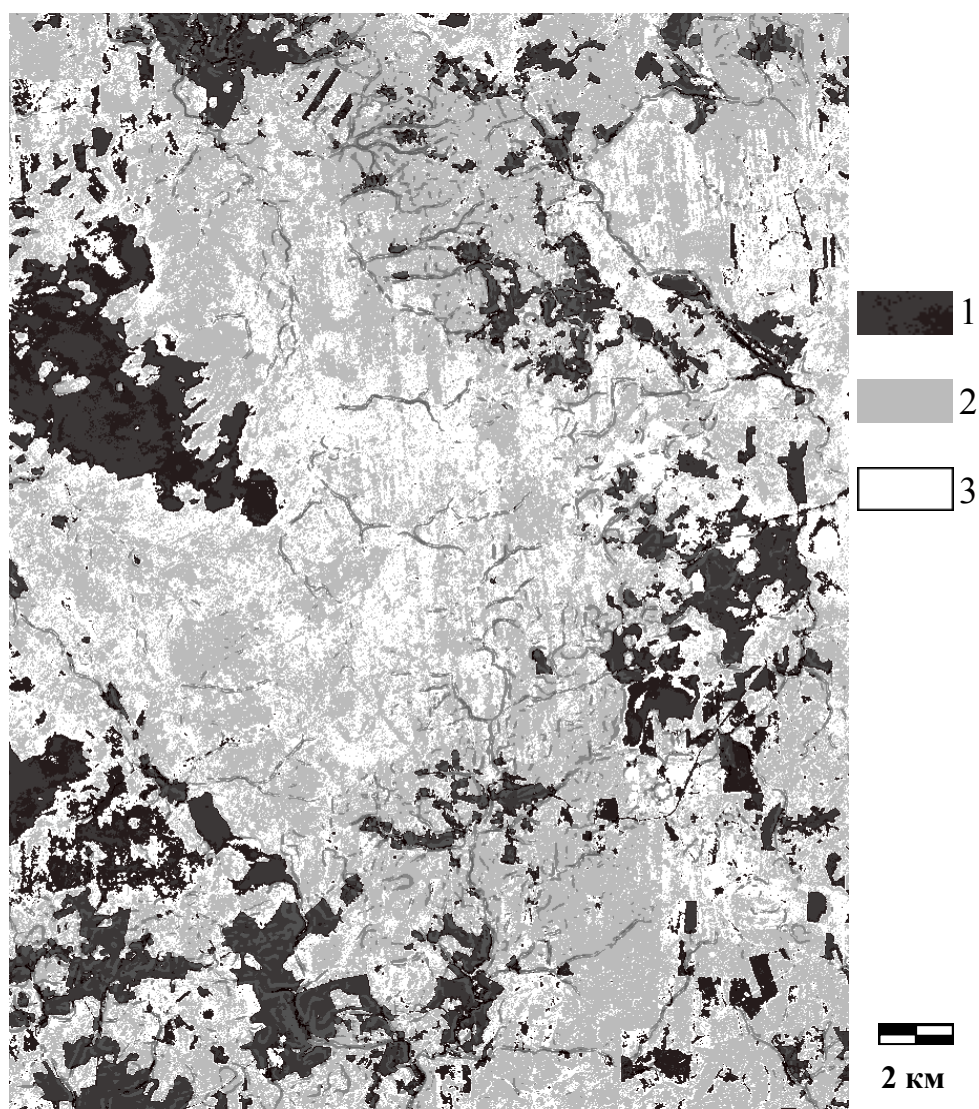


Рис. 1 Пространственная структура местообитаний (упрощенное отображение).
1а. Состояние растительного покрова по сцене Landsat (февраль)
1 – верховые болота, поля, вырубки, населенные пункты,
2 – леса с господством мелколиственных пород,
3 – хвойные, в основном еловые леса.

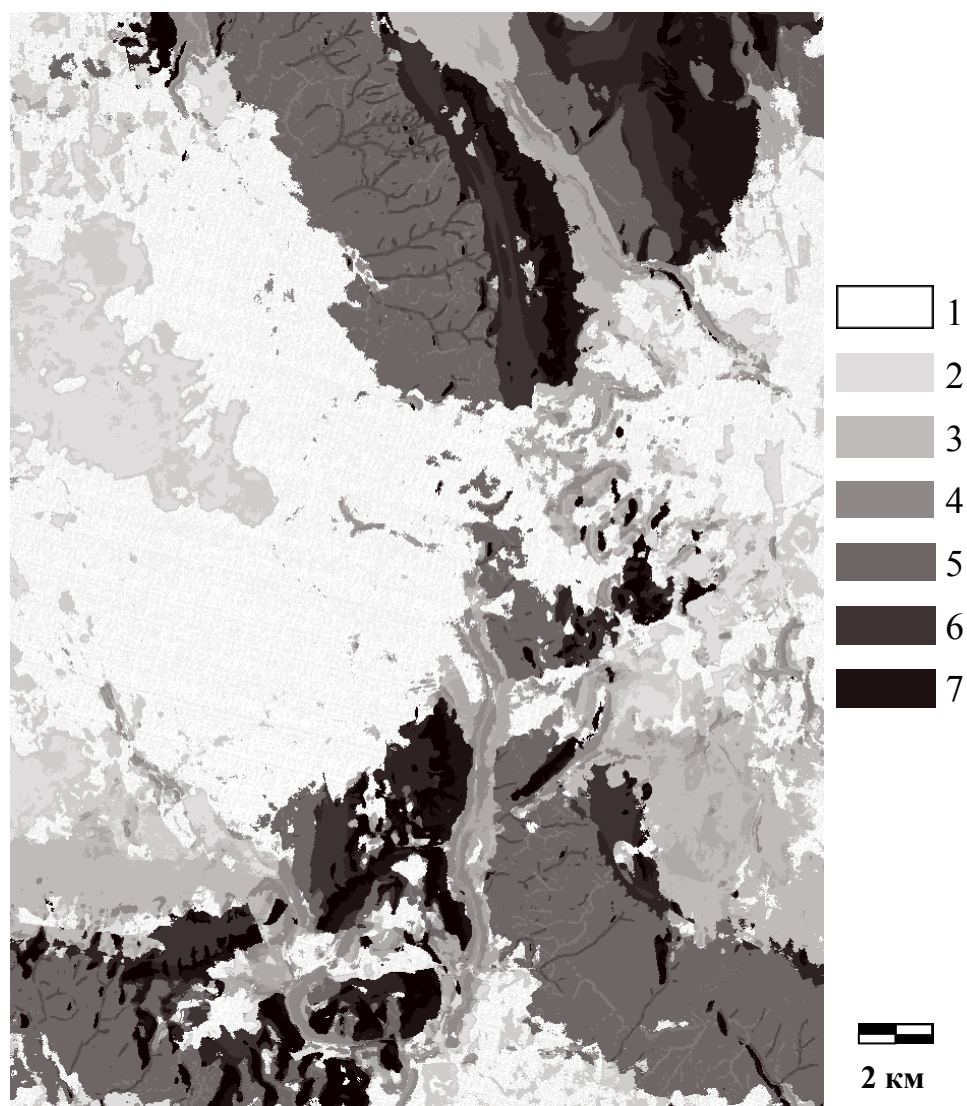


Рис. 1 Пространственная структура местообитаний (упрощенное отображение).

1б. Типы местообитаний на основе Landsat и характеристик рельефа

- 1 – плоские озерные и флювиогляциальные равнины с лесной растительностью,
- 2 – верховые болота на пологих склонах моренных гряд,
- 3 – плоские ложбины стока ледниковых вод с лесной растительностью,
- 4 – долины рек,
- 5 – склоны моренных гряд западной и юго-западной экспозиции,
- 6 – плоские поверхности моренных гряд,
- 7 – склоны моренных гряд восточной и юго-восточной экспозиций.

Для оптимальной организации учетов необходимо создать базовую геоинформационную систему (ГИС), на основе которой нужно планировать маршруты учетов. ГИС позволяет обобщить в единой системе географических координат всю имеющуюся картографическую информацию о территории и добавлять в нее любые данные, имеющие географическую привязку. Наиболее удобной средой для создания ГИС является ПО MapInfo Professional. Среда MapInfo позволяет совмещать в едином рабочем пространстве данные различных форматов (растровые и векторные), редактировать линейные, точечные и полигональные объекты, выполнять отбор точек по заданным критериям, осуществлять буферизацию, переводить данные из векторного формата в растровый, обеспечивая, таким образом, весь набор инструментов как для планирования учетных маршрутов, так и для обработки их результатов.

Базовая ГИС должна содержать следующие слои в одной системе географических координат (эллипсоид WGS84, проекция UTM с указанием зоны): в векторном формате – квартальные просеки, дороги и визиры, речная сеть, урочища и кордоны; в растровом формате – топографические карты, космические снимки, рассмотренные выше отображения местообитаний через дистанционную информацию и рельеф. Если существуют стандартные маршруты учетов, то они должны быть отображены в соответствующем слое. После прохождения учетчиком стандартного маршрута дата и уникальный его индекс заносятся в общую таблицу с маршрутами. В случае если маршрут отличается от стандартного, например, проходит не по просеке и известным дорогам, то для точного переноса маршрута в ГИС необходимо чтобы в GPS учетчика была включена запись трека – автоматическая регулярная фиксация координат точек пути.

Организация учетов с использованием GPS-навигатора

Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник (56°30' с.ш., 32°53' в.д.) расположен в юго-западной части Валдайской возвышенности в пределах главного (Каспийско-Балтийского) водораздела Русской равнины (реки Жукопа и Тудовка – притоки Волги, р. Межа – приток Западной Двины). Рельеф территории полого-холмистый, слабо эрозионно-расчлененный с широким развитием моренных гряд, гляциодепрессий и других ледниковых комплексов (озы, ложбины стока). Абсолютные отметки высот колеблются от 220 м в более низкой северо-западной части, занятой крупным сфагновым болотом Катин мох, до 270 м в более высоких восточной и северо-восточной частях. Рассматриваемая территория пересекается долготной моренной грядой, соединяющейся на юге с двумя широтными моренными грядами. Склоны моренных гряд пологие и уклоны не превышают пяти градусов. Межгрядовые понижения заняты плоскими озерными равнинами с очень слабо выраженным рельефом.

Для территории характерны значительные межгодовые различия в приходе осадков (от 350 до 1200 мм) и соответственно значительные колебания уровня грунтовых и поверхностных вод. Средняя многолетняя сумма осадков 714 мм превышает суммарное испарение с водной поверхности. Для плохо дренированных участков уровень грунтовых вод составляет в среднем 1.5 – 2 м, достигая 0 – 0.3 м для болотных массивов. В результате для значительной части территории характерны процессы заболачивания с образованием, в основном,

эвтрофных верховых и мезотрофных лесных бореальных болот. В слабо дренированных позициях в понижениях между моренными грядами при избытке увлажнения и недостатке минерального питания в основном распространены квазикоренные мелколиственно-еловые кустарничко-сфагновые и зеленомошные южно-таежные леса, на относительно дренированных моренных грядах – папоротниково-разнотравные с участием неморальных видов кустарников и трав – широколиственно-еловые леса. Более 10% территории занимают массивы верховых болот площадью в несколько квадратных километров. Для возвышенностей характерны периодические ветровалы площадью в несколько квадратных километров. Последний такой ветровал произошел в 1996 г. Локальные и крупномасштабные ветровалы приводят к усложнению возрастной структуры и формированию разновозрастных древостоев. Территории, прилегающие к заповеднику и, частично его южная часть, в 50–70-х годах прошлого века пройдены сплошными рубками, на месте которых в настоящее время распространены в основном средневозрастные елово-мелколиственные леса. Большинство населенных пунктов располагались на моренно-камовых грядах и в настоящее время заброшены. Бывшие сельскохозяйственные земли зарастают луговой и кустарниковой растительностью. В последние 10 лет сохранившиеся старые леса в охранной зоне частично вырублены и на вырубках идет естественный процесс восстановления в основном мелколиственных лесов.

Зимний маршрутный учет проводился 16-17 февраля 2010 г. на второй день после интенсивного снегопада. По данным снегосъемки высота снега на 15 февраля была в еловом лесу – 37 см (макс. – 45 см), в мелколиственном лесу 42 см (макс. – 45 см). За 15 февраля выпало еще примерно 15 см. Средняя температура 16 февраля была -9° и 17 февраля -13° . В течение всей зимы не было оттепелей, снег был очень пушистый с плотностью 0.18 г на куб. см.

Наблюдатель в начале маршрута включает GPS навигатор, установив его на регулярный отсчет с шагом 30 м. Обнаружив след, фиксируют его в GPS, добавляя код вида и дублируя запись в журнале учета или в записной книжке: номер встречи (индекс по GPS), координаты, время, вид, комментарии. Практика показывает, что желательно иметь запасные элементы питания. В заповеднике имеется восемь GPS навигаторов и часть учетов проведена без их применения, но с максимально точной привязкой встреч следов на местности (табл. 3). На рисунке 2 приведена схема размещения двух типов маршрутов. Несмотря на то, что площадь заповедника не велика (заповедник – 24415 га, охранный зона – 46061 га) и от базы северного лесничества (д. Мошары) до базы южного (п. Заповедный) всего 22 км по прямой, тем не менее, равномерно охватить учетами всю площадь технически невозможно. При существовавшем снеговом покрове просеки были непроходимы для снегоходов и другой специализированной техники. Выполнить на лыжах прямолинейный маршрут длиной 10 – 12 км с возвращением на базу очень проблематично при любом снеге, особенно во второй половине зимы. Соответственно учеты выполняются по замкнутым маршрутам. Отдельные снегоходные маршруты были проложены по заброшенным дорогам, которые регулярно поддерживались задолго до начала учетов. Очевидно, что подобные проблемы размещения маршрутов существуют и в других заповедниках, а также в охотничьих хозяйствах. Маршруты с GPS

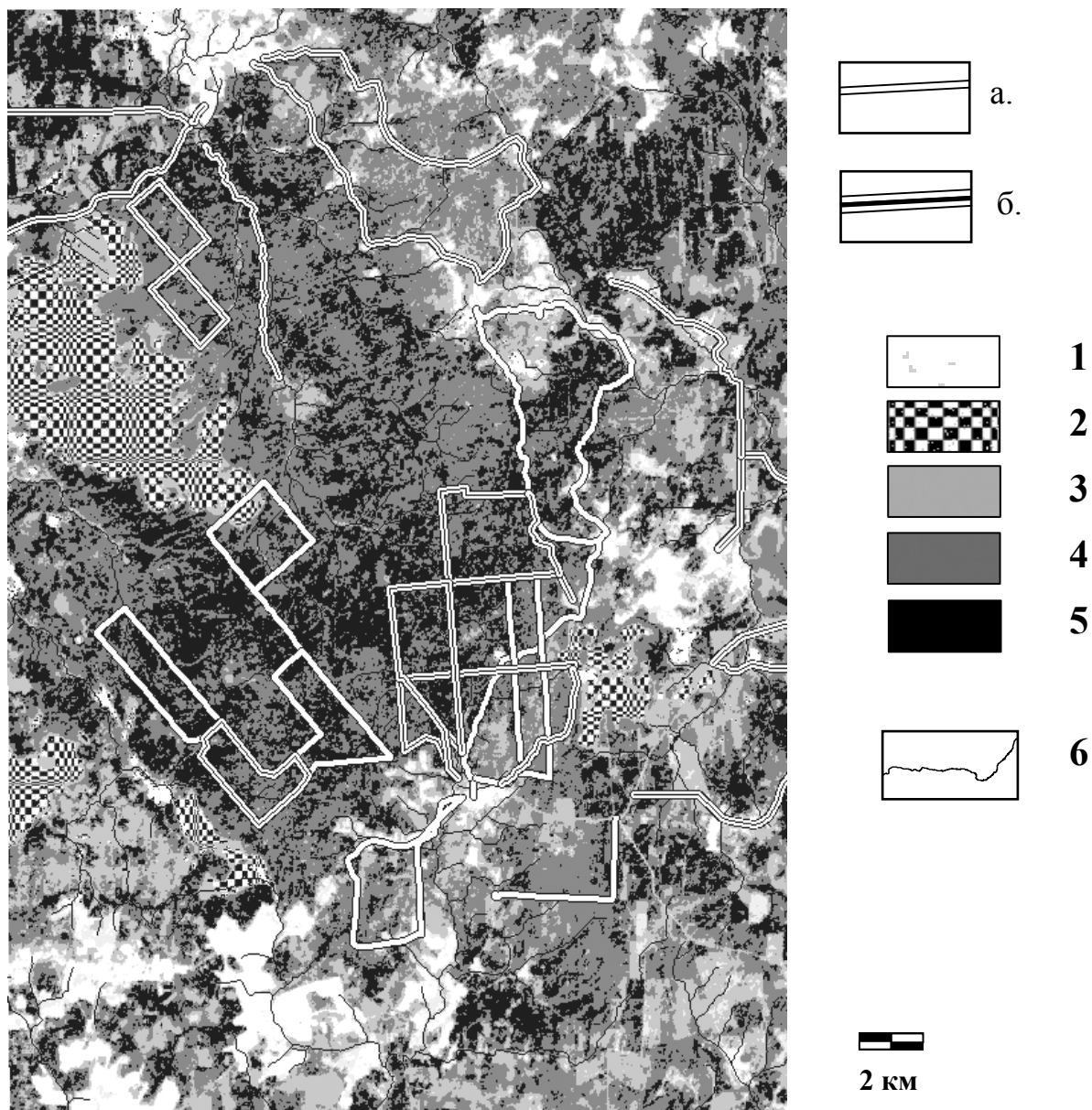


Рис. 2 Размещение маршрутов ЗМУ по территории.

а. - маршруты с GPS-приемником,

б. - маршруты без GPS-приемника.

Основные типы ландшафтного покрова:

1 – сельскохозяйственные земли,

2 – верховые болота,

3 – вывалы и вырубki,

4 – лиственные леса,

5 – хвойные леса,

6 – речная сеть.

навигатором выполнены только в южной части заповедника, а без навигатора, как в южной, так и северной.

По возвращению наблюдателя на базу треки маршрута и точки обнаружения следов экспортируются из GPS приемника на компьютер в текстовом формате. Экспорт может осуществляться как через программное обеспечение GPS-приемника, так и через другие программы, например Ozi Explorer. Для каждой точки встречи сохраняются ее географические координаты, индекс и дата. После экспорта точек в текстовый формат, файл с точками открывается в MS Excel, где точкам по их индексу из полевого дневника добавляется описание: следы какого вида и в какой форме были зафиксированы и, при необходимости, проставляется код вида встреченного животного и код маршрута. Коды присваиваются вручную, параллельно с отбраковкой некондиционных точек (точки с не идентифицируемым следом, промежуточные точки). После забивки всех кодов получаем таблицу, в которой для каждой точки встречи следов указаны: географические координаты встречи, код вида, код и дата маршрута, в ходе которого была отмечена встреча. Далее полученный файл в формате MS Excel открывается в MapInfo, где с помощью инструмента «Создать точечные объекты» по географическим координатам импортируются в новый векторный слой. Параметры создания точек (проекция и единицы измерения координат) должны соответствовать настройкам GPS-приемника. Если все параметры создания точечных объектов заданы правильно, то точки «лягут» вдоль своих маршрутов. Аналогичным образом в отдельные слои импортируются треки, с помощью которых можно уточнять маршруты. Если учет осуществлялся без GPS, то точки встречи вручную переносятся в ГИС с созданием связанной с ними таблицы с указанными выше переменными.

Результаты учета в виде маршрутов и точек встреч следов конкретных видов необходимо объединить с характеристиками среды (значениями яркости в спектральных каналах Landsat, индексами и значениями характеристик местообитаний и свойствами рельефа, которые представлены в растровом формате с разрешением 30х30 м в пикселе). Вся совокупность учетных маршрутов и точек встреч следов конкретного вида образуют обучающую выборку, на основе которой будет осуществляться интерполяция его размещения по всей территории. Обучающая выборка – это набор пикселей, через которые проходили маршруты с наличием или отсутствием следа конкретного вида и характеристиками среды для каждого пикселя. Для создания обучающей выборки необходимо по их географическим координатам отобрать все пиксели, через которые проходил маршрут. Так как вся дистанционная информация и характеристики рельефа хранятся в растровом формате (например, GeoTIFF, IMG, MrSid) где центр каждого пикселя имеет свои географические координаты, то задача соединения переменных среды и данных учетов сводится к поиску и отбору координат тех пикселей, через которые проходил конкретный маршрут. Для этого растровые данные нужно преобразовать в так называемый грид (grid) – слой с регулярной сетью точек, координатами которых являются координаты центров пикселей, а атрибутами – собственно яркости в каналах Landsat и морфометрические характеристики рельефа и их факторное отображение. Для создания грида нужно из программы обработки данных дистанционного зондирования Erdas Imagine экспортировать файлы с дистанционной информацией и характеристиками рельефа в табличный формат DBF. Экспорт

осуществляется через текстовый формат ASCII, который, в свою очередь импортируется в программу Statistica 8 или SPSS, где рассчитываются индексы и обобщающие факторы, и уже оттуда в формат DBF. В результате получаем таблицу, в которой для каждого пикселя записаны его географические координаты. Открываем DBF в MapInfo и создаем на его основе точечные объекты, так же как это делалось с точками и треками, при этом параметры создания точечных объектов (эллипсоид, проекция, единицы измерения координат) должны быть такими же, как заданные для растра в Erdas Imagine (WGS84, зона UTM, метры). Полученный в результате этих операций слой с точками и есть грид. Таким образом, последующие действия сводятся к привязке линий маршрутов и точек встреч к пикселям – точкам грида.

Для того чтобы отобрать все пиксели, которые пересекал маршрут, необходимо построить буфер вокруг линии каждого маршрута – стандартная операция в MapInfo. Радиус буфера – 15 метров (половина стороны пикселя 30х30м). Построение буфера необходимо для превращения линии маршрута в площадной объект, для которого уже можно в дальнейшем отбирать те пиксели, которые в него попадают. В настройках инструмента «буферизация» нужно задать опцию «строить для каждой линии маршрута отдельный буфер», даже если маршруты частично пересекаются. Теоретически все точки встреч должны попасть в пределы буфера, однако, в силу неточности GPS-привязки часть точек может оказаться на расстоянии до нескольких десятков метров от буфера. «Притаскивание» точек встреч к линии маршрута осуществляется либо вручную, либо с помощью специальной утилиты (любезно предоставлена Д.Н. Козловым). Утилита находит кратчайшее расстояние между каждой точкой встречи и линией маршрута и по нему переносит точку внутрь буфера. Перед ее применением необходимо удалить точки слишком далеко отстоящие от ближайшего маршрута (более чем на 50 м), а так же вручную переместить те точки, которые лежат ближе к другим маршрутам, чем к своему (например, в местах пересечения маршрутов). После того как все точки помещены внутрь буфера, с помощью утилиты Nearest Object (предоставлена Д.Н. Козловым) объединяем точки встреч следов с пикселями грида. В результате получаем таблицу, в которой каждая точка встречи имеет географические координаты пикселя и, соответственно, дистанционные характеристики и характеристики рельефа. Далее, с помощью SQL-запроса отбираются и сохраняются в отдельном файле все точки грида (пиксели), по которым проходили маршруты. Таким образом, получаем два файла: файл с пикселями, через которые проходят маршруты с характеристиками среды и файл с пикселями маршрутов, в которых были зафиксированы встречи следов с характеристиками среды.

Полученные в MapInfo файлы отправляем в базу данных MS Access. Из файла с точками встреч по коду выбираем только точки встречи с анализируемым видом. Далее полученный файл соединяем с файлом маршрутов, предварительно создав в файле маршрутов колонку с «наличием» – «отсутствием» следа. В полученном файле имеются пиксели с характеристиками среды для всех маршрутов и пиксели, в которых были встречены следы анализируемого вида, при этом в отдельной колонке для пикселя стоит либо «0» – отсутствие следа, либо «1» – наличие следа.

Табл. 4 Вероятность обнаружения следа объектов учета в первый и второй день учета на маршрутах с GPS навигатором

Вид	16.02.2010			17.02.2010			t-критерий	В целом		
	Наличие	Ошибка		Наличие	Ошибка			Наличие	Ошибка	
		Абсолютная	Относи- тельная		Абсолютная	Относи- тельная			Абсолютная	Относи- тельная
Лось	0.00760	0.001546	20.33	0.00824	0.001500	18.18	<1	0.00794	0.001077	13.55
Кабан	0.00665	0.001448	21.75	0.00439	0.004669	24.20	1	0.00412	0.000778	18.86
Заяц	0.00127	0.000636	49.97	0.00661	0.001346	20.341	-4	0.00413	0.000780	18.86
Белка	0.00508	0.001269	24.94	0.00330	0.000954	28.82	2	0.00413	0.000780	18.86
Лиса	0.00127	0.000636	49.97	0.00275	0.000871	31.58	1.000	0.00206	0.000552	
Куница	0.01238	0.001971	15.91	0.01323	0.001898	14.33	-0.31	0.01283	0.001368	10.65
Хорь	0.00601	0.001376	22.87	0.00303	0.000913	30.10	2.0000	0.00442	0.000805	18.21
Горностай	0.00063	0.000450	70.69	0.00027	0.000276	100.0	1	0.00044	0.000256	57.72
Ласка	0.00635	0.001417	22.29	0.00661	0.001347	20.34	<0.1	0.00649	0.000976	15.02
Глухарь	0	0	0	0.00082	0.000477	57.71	-1,73	0.00044	0.000256	57.72
Тетерев	0.00412	0.001141	27.68	0.00137	0.000616	44.69	2.000	0.00265	0.000625	23.54
Рябчик	0.00127	0.000636	49.97	0.00192	0.000729	37.76	-1	0.00162	0.000489	30.12

Анализ результатов учета

Первый этап анализа выполняется в программе Statistica 8. В результате осуществленных преобразований единицей учета становится пиксель с «наличием» или «отсутствием» следа конкретного вида. Соответственно, вся выборка подчиняется биномиальному распределению, что существенно упрощает оценку среднеквадратической ошибки учета. В результате расчетов получаем вероятность обнаружения следа в одном пикселе. Так как линейный размер пикселя известен (0.030 км), то легко рассчитать оценку числа следов на 10 км маршрута с соответствующей ошибкой. В табл. 4 приведены результаты оценок вероятности наличия следа в пикселе для первого и второго дня учетов с использованием GPS-навигатора. Если между ними нет достоверных различий (критерий $t \leq 2$), то оба учета могут быть использованы для решения задачи интерполяции и оценки плотности популяции для всей территории. В нашем случае практически для всех видов можно признать различия недостоверными и только для оценки численности зайца-беляка необходимо использовать второй день учета.

Задача интерполяции наблюдений, по содержанию тождественна построению карт пригодности местообитаний (Habitat Suitability Map) и решается различными статистическими методами (Hirzel et al., 2001, 2002). В современной практике применяется весь арсенал статистических методов: методы группировки на основе многомерной дистанции, метод максимизации энтропии, многомерная регрессия, факторный анализ, логистическая регрессия, дискриминантный анализ, нейронные сети, генетический алгоритм. Каждый из методов обладает своими достоинствами и недостатками, а его эффективность во многом определяется характером связи вида с задаваемыми исследователем внешними переменными. Проведено большое число прямых сравнений сходства результатов и эффективности различных методов (Manel et al., 1999, 2001; Patrick et al., 2002; Engelhard et al., 2003; McPherson et al., 2004; Peterson, 2006 и др.). В общем, результаты часто весьма близки. Суть же сводится к следующему: если связи практически линейны и вклад мультипликативных эффектов (произведения или отношения двух или нескольких переменных) невелик, то все методы дают очень близкие результаты. Если отношения в системе «объект – внешние переменные» существенно нелинейны и неаддитивны, то более эффективны методы нейронных сетей или генетический алгоритм. Опыт показывает, что наиболее эффективны для решения задачи интерполяции дискриминантный анализ и нейронные сети, реализованные в пакете программ Statistica 8. Техника применения дискриминантного анализа рассмотрена при построении для территории Центрально-Лесного заповедника карт пригодности местообитания для норки и куницы (Пузаченко и др. 2007, Желтухин и др. 2008, Пузаченко и др. 2009, Пузаченко и др. 2010). Метод многомерного персептрона (Multilayer perceptrons), реализованный в Statistica 8 автоматически случайным образом выбирает модели с разным числом персептрон и различными передаточными функциями. Из 20-40 реализаций, используя статистические критерии, надо выбрать наилучшую модель или среднее из наилучших моделей. Оба метода дают значения вероятности обнаружения следа в пикселе для всей территории.

В таблице 5 приведено сравнение результатов интерполяции вероятности встречи следов лоса по двум моделям. Данные, полученные с GPS-навигатором,

Табл. 5 Формальное сравнение качества интерполяционных моделей для размещения следов лося (таб.4)

Тип учета	Метод	F-критерий	Состояние	Параметры моделей			
				Вероятность наличия следа		Ошибка	
				выборка	модель	абсолютная	относительная
С GPS	Дискриминантный анализ	963.641	0		0.01341	0.00164	12.24
			1		0.31083	0.06545	21.05
			В целом	0.00794	0.01579	0.00177	11.2
	Многослойный персептрон	2634.636	0		0.007957	0.00108	13.600
			1		0.306086	0.06330	20.682
			В целом	0.00794	0.010326	0.00122	11.877
Без GPS интерполяция	Дискриминантный анализ	28.00904	0		0.00745	0.00103	13.86
			1		0.03073	0.01941	63.18
			В целом	0.01082	0.00770	0.00104	13.55
	Многослойный персептрон	1581.313	0		0.008558	0.000739	8.6419
			1		0.128508	0.027415	21.334
			В целом	0.01082	0.009707	0.000783	8.0709
В целом для всех маршрутов	Дискриминантный анализ	654.0590	0		0.010044	0.0008006	7.97095
			1		0.131563	0.0276913	21.0479
			В целом	0.009577	0.011208	0.0008412	7.50516
	Многослойный персептрон	1581.313	0		0.008558	0.0007396	8.6419911
			1		0.128508	0.0274160	21.334030
			В целом	0.009577	0.009707	0.0007834	8.0709010

образуют обучающую выборку, а без GPS дают некоторую возможность проверить качество интерполяции. В соответствии с F-критерием обе модели статистически значимы, но модель на основе многослойного персептрона лучше. Из рисунка 3 можно увидеть различия двух моделей. Дискриминантная модель предсказывает относительно узкую область возможной встречи следов лося. Модель на основе многослойного персептрона дает более широкую область. В общем случае может быть и наоборот. При всей неточности позиционирования на местности следов на маршруте без GPS их размещение статистически значимо предсказывается интерполяционными моделями. Из рисунка 3 видно, что они лежат в области с предсказанной высокой вероятностью встреч следов лося. При этом предсказание на основе многослойного персептрона лучше, чем на основе дискриминантной модели. В таблице 5 приведены условные вероятности предсказания размещения следа как для точек, где он действительно наблюдался (1), так и там где следов не было (0). Модель предсказывает, что в участках маршрута, где не было следов, существуют потенциально пригодные местообитания и, напротив, в некоторых точках, где был след, условия для вида неблагоприятны. Но все-таки обе модели однозначно распознают, как благоприятные для лося около 30% точек из всех тех, где был обнаружен след. Очевидно, что следы животных не обязаны встречаться только в благоприятных для него местообитаниях. Животные в процессе передвижения неизбежно проходят и по неблагоприятным для него местам. Но доля таких мест статистически достоверно ниже. С другой стороны следы не обязаны встречаться и во всех благоприятных местообитаниях. В частности, хотя бы по тому, что численность вида может быть ниже предсказанных пригодных мест или, иначе говоря, текущей емкости угодий. В результате прогнозируемая вероятность встреч следов лося на маршрутах с GPS по дискриминантной модели выше реально наблюдавшейся почти в 2 раза. В то же время приведенная модель персептрона статистически незначимо отличается от выборки.

В данном случае интерполяционная модель на основе персептрона во всех отношениях лучше дискриминантной модели. Проведение большого числа экспериментальных расчетов по разным видам со сравнением качества дискриминантных моделей и моделей нейронных сетей показывает, что последние по формальным статистическим критериям всегда лучше дискриминантных моделей. Однако, используя метод нейронных сетей для выборок с очень редкими событиями, при случайном поиске персептрона со случайно выбранным числом нейронов и соотношением вариантов передаточных функций практически невозможно получить две одинаковые модели. Этот эффект вытекает из работы алгоритма нейронной сети при построении интерполяционной модели. В рамках используемой программы случайным образом выбирается число персептронов и комбинация входных и выходных передаточных функций. Выборка случайным образом разбивается на обучающую, тестовую и проверочную. Изменяя численные значения передаточных функций по обучающей выборке, программа сравнивает среднеквадратическую ошибку аппроксимации с ошибкой по тестовой выборке и последовательно подбирает такие значения, при которых различия ошибок на обучающей и тестовой выборках будут минимальны. Затем она сравнивает результат прогноза по проверочной выборке, что и дает оценку качества модели. Почти при любой структуре персептрона и любом соотношении передаточных

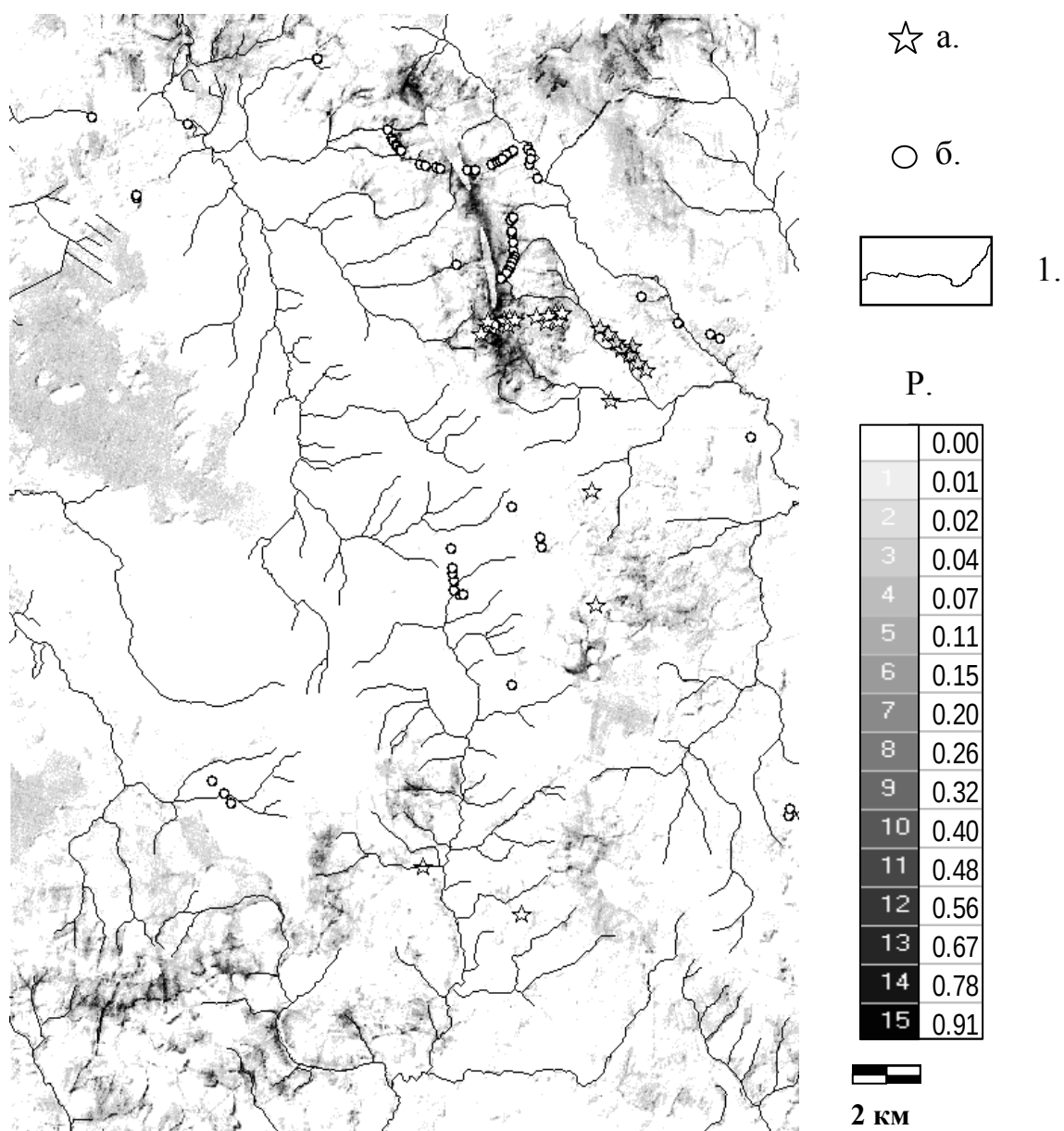


Рис. 3 Вероятность встречаемости следов лося.

За. – дискриминатный анализ.

а. - точки встреч следов лося на маршрутах с GPS-приемниками

б. - точки встреч следов лося на маршрутах без GPS-приемников

Р. – вероятность встречи

1. – речная сеть

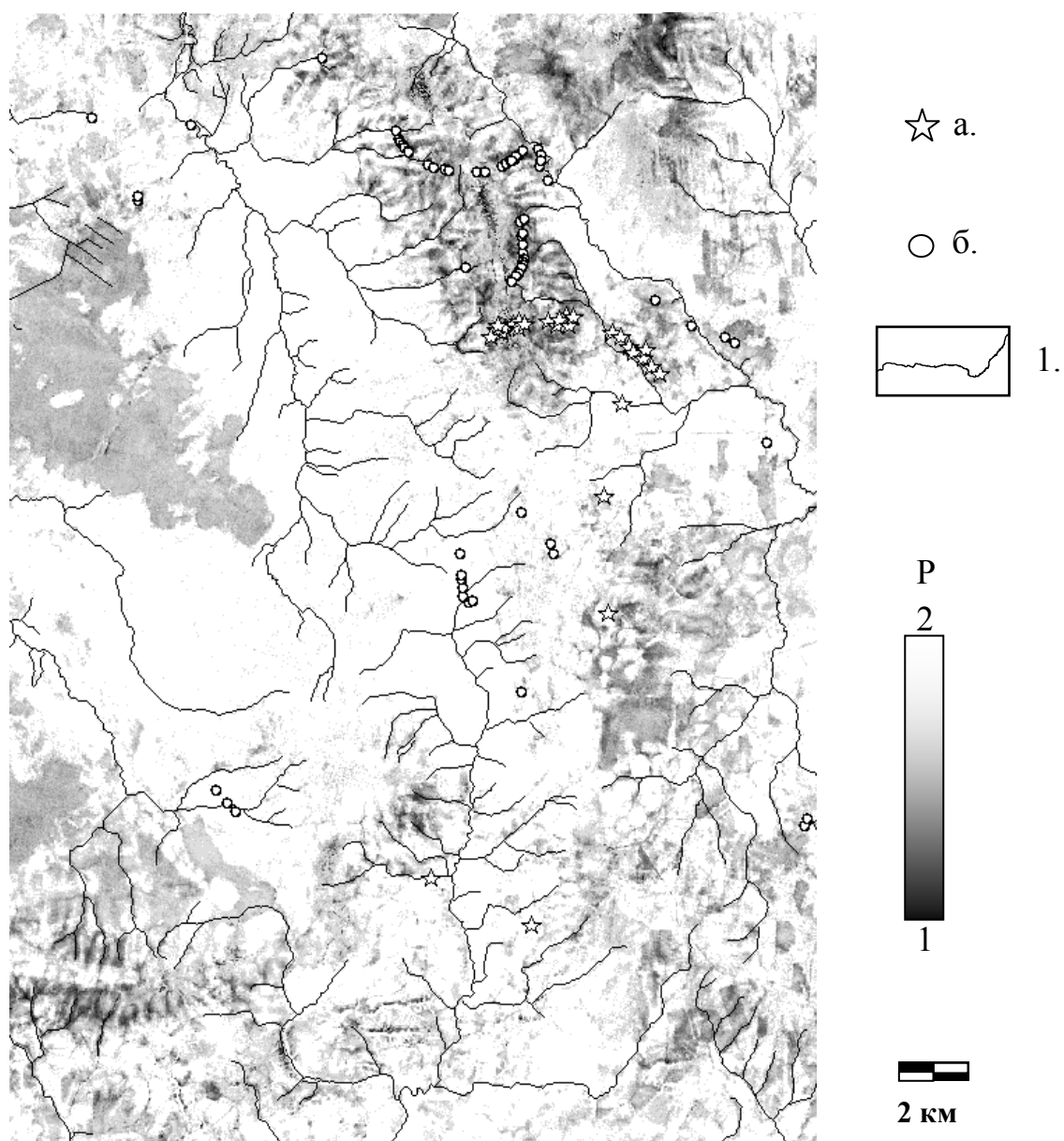


Рис. 3 Вероятность встречаемости следов лося.
 3б. – многослойный персептрон (нейронная сеть).
 а. - точки встреч следов лося на маршрутах с GPS-приемниками
 б. - точки встреч следов лося на маршрутах без GPS-приемников
 Р. – вероятность встречи
 1. – речная сеть

функций может быть найдено единственное решение, хотя в некоторых вариантах сходимость оказывается недостижима при сколь угодно большом числе итераций. Следовательно, для большинства структур персептрона находится более или менее приемлемая модель. Все результаты учетов можно представить как некоторую поверхность в пространстве внешних переменных. Если эта поверхность выпуклая и имеет один максимум, то разные модели дадут, в общем, близкие результаты. Но реальная поверхность может иметь несколько локальных максимумов, соответствующих различным сочетаниям состояний внешних переменных. В этом случае разные модели могут быть подогнаны под разные максимумы и они будут существенно отличаться друг от друга, хотя формально каждая из них будет статистически достоверна. Обычно в качестве результата берется некоторая средняя из нескольких лучших моделей. При построении прогноза по данным с редкими событиями результаты модели независимых друг от друга расчетов полностью невоспроизводимы и, при этом, никогда нельзя быть уверенным, что в итоге получена наилучшая из всех возможных моделей. Рассмотренный в самых общих чертах алгоритм многослойного персептрона объясняет ограниченные возможности его применения к «сильно разреженным данным».

Дискриминантный анализ, применение которого к решению подобной задачи описано ранее (Пузаченко и др. 2007, Желтухин и др. 2008, Пузаченко и др. 2009, Пузаченко и др. 2010), аппроксимирует данные на основе регрессионных моделей при гипотезе нормальности распределения и конструирует гладкую аппроксимирующую поверхность. В результате критерий качества дискриминантной модели всегда ниже, чем на основе модели персептрона, но результат всегда однозначен.

Дискриминантная модель рассчитывает вероятность обнаружения следа в каждой точке пространства. Как видно из таблицы 5 предсказываемая вероятность несколько выше наблюдаемой, но предсказание даже при не очень точном позиционировании следов на маршрутах без GPS статистически значимо.

В таблице 6 приведены оценки статистической значимости различий всех возможных вариантов оценки встречаемости. Дискриминантная модель показывает, что местообитания, по которым проходили маршруты с GPS-навигатором статистически лучше для лося, чем на маршрутах без GPS. Это определяется тем, что большая часть маршрутов с навигатором приходится на вторичные леса, вырубки, заброшенные поля вокруг покинутых деревень в охранный зоне заповедника. Несколько большая часть маршрутов без GPS проходит через коренные леса заповедного ядра с местообитаниями неблагоприятными для лося. Однако реальная встречаемость лося на маршрутах с GPS статистически значимо, почти в два раза меньше (1.99), чем предсказано в модели. Напротив, во втором варианте встречаемость следов лося в 1.4 раза больше, чем в модели, но это различие статистически незначимо. Некоторое превышение реальной встречаемости в сравнении с прогнозом определяется концентрацией лося во вторичных лесах северной части заповедника. В целом же расчетная встречаемость для всех маршрутов практически однозначно соответствует результатам учета. То, что местообитания на маршрутах с GPS весьма благоприятны для лося не вызывает сомнения. Причина несоответствия емкости местообитаний реальной численности может обсуждаться не более чем

Табл. 6 Значимость различий частоты встречаемости следов лося по выборкам и модели дискриминатного анализа.

Над диагональю критерий Стьюдента (t), под диагональю – отношение встречаемостей

Тип учета	Метод	Частота	Ошибка	С GPS		Без GPS		В целом	
				ДА	В	ДА	В	ДА	В
С GPS	Дискриминантный анализ (ДА)	0.01579	0.00177		3.79	3.94	2.57	3.14	3.51
	Выборка (В)	0.00794	0.001077	1.99		0.16	-0.46	-0.75	-0.81
Без GPS	Дискриминантный анализ (ДА)	0.00770	0.00104	2.05	1.03		-2.99	-1.54	-1.47
	Выборка (В)	0.01082	0.0007782	1.46	0.72	0.71		1.01	0.88
В целом для всех маршрутов	Дискриминантный анализ (ДА)	0.00970	0.0007834	1.62	0.81	0.79	1.11		0.12
	Выборка (В)	0.00957	0.000778	1.64	0.83	0.80	1.13	1.01	

на уровне гипотез, которые не являются предметом настоящей статьи. Здесь важно, то, что рассматриваемый метод позволяет выявить такие диспропорции и в последующем контролировать их устойчивость во времени и пытаться выявить определяющие их факторы. Но, если допустить, что учеты были проведены только в оказавшимися лучшими местообитаниях, то мы вынуждены понизить прогнозируемую встречаемость по всей территории 0.008933 на пиксель по учетам с GPS в 1.99 раз. Таким образом расчетная встречаемость следов будет 0.004487 следов в пикселе или соответственно 3.1 и 1.56 на 10 км маршрута. Для всех оценок можно рассчитать относительную и абсолютные ошибки. Для оценки, полученной на основе прямой интерполяции в соответствие с таблицей 5, абсолютная ошибка соответствует ошибки модели -0.00177 и относительная соответственно 0.198. Относительная ошибка произведений и делений случайных величин есть корень квадратный из суммы квадратов относительных ошибок. Соответственно относительная ошибка пересчетного коэффициента 1.99 как ошибка деления равна 0.17 и относительная ошибка встречаемости следов, рассчитанная на его основе для интерполированной встречаемости – 0.21.

Если перейти к показателю встречаемости следов на 10 км маршрута, то число следов по дискриминантной модели для всей территории (3.1) оценено с абсолютной ошибкой 0.41, скорректированная оценка – 1.56 с абсолютной ошибкой 0.33. Относительная ошибка 17-21% – та точность, которую можно получить при существующем уровне численности на основе 194 км маршрута. То, что скорректированная оценка ниже оценки по всем маршрутам определяется в частности тем, что значительная площадь старых еловых лесов неблагоприятных для лоса не охвачена учетами.

Поясним биологический смысл интерполяции на основе дискриминантного анализа. Формально дискриминантный анализ воспроизводит гладкую выпуклую поверхность в пространстве факторов, отображающих условия среды с единственной и однозначно определенной областью оптимума. Эта поверхность как бы «срезает» существующие неровности, соединяя в единое непрерывное отображение большинство локальных максимумов. В результате вероятность встречаемости следов по интерполяционной модели почти всегда будет выше наблюдаемой. Чем ближе реальная поверхность приближается к модельной, тем меньше будут эти различия. Таким образом, дискриминантный анализ отображает идеализированную экологическую нишу для времени конкретного учета. Соответственно встречаемость или численность, рассчитанные по этой модели могут трактоваться как мера текущей емкости угодий. Реальное число следов на единицу длины маршрута может быть ниже оцениваемой текущей емкости, как совокупности потенциально благоприятных условий в результате относительно низкой численности или относительно малой подвижностью в момент учета. Превышение оцененной емкости теоретически относительно редкое явление и может рассматриваться как результат резкого превышения численности, емкости угодий или аномально высокой подвижностью. Так, анализ результатов зимнего учета следов лосей показывает, что животные в разных частях территории могут в разной степени использовать эту текущую емкость угодий.

В таблице 7 приведен сравнительный анализ результатов учетов и модели по всем видам для маршрутов с GPS. Используемая емкость (E) оценивается как

Табл. 7 Оценка качества интерполяции на основе дискриминатного анализа для маршрутов с GPS-навигатором

Вид	F- критерий	Маршрут		Модель		t-критерий	Использование емкости		
		Следы на 10 км	Ошибка, %	Следы на 10 км	Ошибка, %		%	Ошибк а, %	t-критерий
Лось	1900.0	2.77	9.58	5.54	11.20	-4.02	50.00	14.73	-6.79
Кабан	1636.0	1.96	15.08	2.04	15.87	-0.15	96.08	21.89	-0.19
Заяц-беляк	108.1	2.32	15.98	2.56	19.32	-0.36	90.62	25.07	-0.41
Белка	231.1	1.44	15.22	1.72	17.23	-0.70	83.72	22.98	-0.85
Лиса	588.0	0.70	11.78	0.81	25.06	-0.38	86.42	27.69	-0.57
Куница	55.67	4.49	10.50	6.42	8.879	-2.33	69.94	13.75	-3.13
Черный хорь	7381.0	1.54	10.65	1.96	16.16	-1.20	78.57	19.35	-1.41
Горностай	49.93	0.14	29.21	0.32	38.46	-1.43	43.75	48.29	-2.66
Глухарь	604.0	0.14	47.07	0.28	40.97	-0.91	50.00	62.40	-1.60
Тетерев	25521.0	0.91	14.49	1.58	14.49	-2.91	57.59	20.49	-3.59
Рябчик	854.2	0.56	22.15	0.53	30.46	0.17	105.66	37.66	0.14

отношение численности по модели к численности на маршруте с относительной ошибкой, определяемой как квадратный корень из суммы квадратов относительных ошибок. Статистическая значимость отличия этого отношения от единицы оценивается по значению относительной ошибки (ε) как $t = (E-1)/(\varepsilon E)$ (критерий Стьюдента).

Сопоставление результатов учетов и интерполяций для маршрутов с GPS показывает, что только три вида: лось, куница и тетерев имеют реальную численность статистически значимо ниже предсказанной в модели. Для тетерева местообитания в целом, безусловно, благоприятны, но и по всем экспертным оценкам численность его в настоящее время действительно низкая. Для куницы местообитания очень благоприятны (Пузаченко и др., 2010), а реальная численность в 1.43 раза меньше емкости местообитания. Это можно связать в целом, с невысокой емкостью местообитаний в их текущем состоянии для ее основных кормов: белки, зайца-беляка и рябчика.

При учетах без GPS (таблица 8) только численности лоса, зайца-беляка, горностая и с сохранением общих пропорций куницы соответствуют интерполяционным моделям. В отношении лоса создается впечатление, что он по каким-то причинам сконцентрировался в северной части территории, в то время как в весьма благоприятных местообитаниях на юге встречается относительно редко (рис.3). Численность кабана в десять раз ниже емкости, что возможно объясняется интенсивной подкормкой в соседних охотничьих хозяйствах. Но, в то же время, большинство отмеченных следов встречено в предсказанных условиях. Существенно ниже емкости численность белки, лисы, черного хоря, рябчика, тетерева и в меньшей степени глухаря. Хотя следов рябчика отмечено не много, но он статистически достоверно (F-критерий-9.6) связан с выделенными местообитаниями. Коррекция модели через значение емкости, рассчитанное по маршрутам с GPS дает статистически незначимое отличие данных учета от модели для: зайца-беляка, лисы, куницы, горностая, глухаря, рябчика. Расширение списка корректно оцененных видов определяется как понижением прогнозируемой численности, так и увеличением ошибки оценки за счет коррекции.

Территории, по которым проходили учеты с GPS и без GPS отличаются не принципиально. Размещение видов, оцениваемое по видовым картам пригодности местообитаний, не противоречит априорным знаниям объектов учета. Для большинства видов при учетах без GPS полученные оценки численности существенно ниже прогнозируемых. Возможно, что проведение учетов с навигатором, оказывает психологическое действие на учетчика, снижая вероятность пропуска следов малозначащих с его точки зрения видов.

Полученные соотношения позволяют оценить показатели численности животных с учетом реального соотношения местообитания (потенциальная численность следов на 10 км) и коэффициента используемой емкости, отражающего отношение потенциальной численности к реальной. В таблице 9 приведены результаты этих оценок. Сравнение результатов учета на маршрутах и интерполяции показывает, что, отражая реальное соотношение разных типов местообитаний, она вносит заметную коррекцию в оценку численности кабана, куницы, черного хоря, глухаря и тетерева. Переход к оценкам плотности, очевидно, увеличит относительную ошибку пропорционально корню

Табл. 8 Сравнение интерполяции по дискриминатной модели на маршруты без GPS – навигатора (прямое и с коррекцией на использование емкости угодий)

Вид	Маршруты без GPS					Коррекция по емкости		
	Маршрут		Модель		t- критерий	Следы на 10 км	Ошибка, %	t-критерий
	Следы на 10 км	Ошибка, %	Следы на 10 км	Ошибка, %				
Лось	3.79	10.15	2.70	13.50	1.32	1.350	17.5	-5.405
Кабан	0.32	35.34	3.40	10.71	-8.10	3.267	19.1	4.647
Заяц-беляк	3.16	15.01	2.32	17.56	1.35	2.103	26.1	-1.457
Белка	0.70	23.55	2.63	12.16	-5.36	2.202	21.1	3.047
Лиса	0.11	57.73	0.63	24.67	-3.15	0.544	35.2	2.151
Куница	4.63	9.184	6.42	7.776	-2.73	4.490	11.8	-0.206
Черный хорь	0.00	0.00	5.51	8.420	-11.88	4.329	18.2	5.495
Горноста́й	0.32	35.34	0.35	32.52	-0.22	0.153	50.4	-1.220
Глухарь	0.07	70.71	0.35	32.67	-2.25	0.175	52.4	1.008
Тетерев	0.00	0.00	0.95	20.22	-4.94	0.547	24.9	4.016
Рябчик	0.74	22.92	2.56	12.34	-5.09	2.705	32.9	2.169

Табл. 9 Общая оценка состояния популяций на основе учетов и интерполяции их результатов с использованием дискриминатного анализа

Вид	Все маршруты		Интерполяция (текущая емкость)		Интерполяция с коррекцией		Используемая емкость		
	Следов на 10 км	Ошибка, %	Следов на 10 км	Ошибка, %	Следов на 10 км	Ошибка, %	%	Ошибка, %	Отличие от 100% t-критерий
Лось	3.30	11.20	3.93	8.12	3.36	13.83	85.5	16.0	1.06
Кабан	1.96	15.87	5.06	14.72	1.03	21.64	20.4	26.1	14.95
Заяц-беляк	2.39	19.32	3.69	12.08	2.81	22.78	76.2	25.7	1.21
Белка	1.47	17.23	3.46	14.73	1.03	22.66	29.8	27.0	8.73
Лиса	0.49	25.06	2.66	24.24	0.38	34.86	14.3	42.4	14.13
Куница	6.37	8.88	4.87	6.96	4.58	11.28	94.0	13.2	0.48
Черный хорь	1.72	16.16	5.07	18.23	0.67	24.36	13.2	30.4	21.58
Горноста́й	0.39	38.46	2.35	35.36	0.32	52.24	13.6	63.0	10.06
Глухарь	0.32	40.97	0.16	44.69	0.11	60.62	68.8	75.3	0.60
Тетерев	1.33	44.71	1.61	23.52	0.40	50.51	24.8	55.7	5.43
Рябчик	0.91	30.46	1.72	18.21	0.67	35.48	39.0	39.8	3.93

квадратному из суммы квадратов относительных ошибок длины суточного хода и числа встреч следов на единицу маршрута.

На основе знания относительной ошибки (ϵ) можно оценить статистически значимые детерминированные масштабы изменения численности от года у году. Так как учеты проводились примерно на одних и тех же маршрутах, то ошибку можно принять постоянной. Для расчета нормы отстрела нас интересует насколько достоверно отношение (R) двух численностей m_1 и m_2 отличается от единицы. Соответственно критерий Стьюдента $t=(R-1)/(\epsilon R)$ или $R=1/(1-\epsilon t)$. Например, при $\epsilon=0.1$ и $t=2$ с вероятностью 0.95 значимы различия в 1.25 раза, то есть численность изменилась на 25%. Соответственно, можно пропорционально повысить (понизить) действующую норму изъятия. Так как в оценке численности есть случайная составляющая, то изменять норму отстрела можно на $25\%/2^{0.5} = 25\%/1.41 \approx 18\%$.

С другой стороны, полученные оценки ошибок позволяют оперативно оценивать детерминированную составляющую мониторинга динамики численности и информативность оценки используемой текущей емкости угодий. На рисунке 4а приведена динамика численности по ЗМУ четырех видов и критерии значимости отношения показателя численности в год $i+1$ к году i . Так число следов лося в 1998 году достоверно резко снизилось, в 1999 году увеличилось, затем опять снизилось и сохранялось на приблизительно одном уровне до 2007 года, после которого оно выросло почти в два раза и достигло максимума в 2010 г. Весьма характерно, что в 1997-1999 годах в период учетов в охранной зоне вообще не было встречено следов лосей. Единично они встречались здесь до 2000 года, а после 2001 года они стали чаще встречаться именно в охранной зоне. Корреляция между показателями численности в собственно заповеднике и охранной зоне -0.5. Такие соотношения можно объяснить мощными вывалами старого леса летом 1996 года на территории заповедника существенно увеличившими кормовую базу. Через шесть-семь лет кормовые ресурсы на вывалах, по-видимому, уменьшились, и лось перешел в охранную зону на старые вырубki и на зарастающие поля заброшенных деревень.

Таким образом, представители единой популяции перемещаются по территории в соответствии с текущим состоянием пищевых ресурсов при общем росте численности, начиная с 2007 г. и, в целом, практически с полным использованием текущей емкости угодий. Численность кабана на рассматриваемой территории крайне неустойчива. В среднем за 35 лет наблюдений число следов на 10 км составляло 0.21. Максимальное число следов отмечено в 2010 г. – 1.96. Статистически значимые отличия показателей численности в соседние годы, возможно, так же определяются существенной изменчивостью следовой активности. Низкое использование емкости среды, вполне соответствуют наблюдаемому процессу становления популяции. Численность зайца-беляка (рис. 4в) на протяжении 13 лет достоверно снижается, что соответствует уменьшению емкости при ее практически полном использовании. В силу очень высокого варьирования суточного хода куницы оценка статистически значимого изменения числа следов от года к году включает ошибку длины суточного хода (таблица 1). Число следов в 2000 г – максимальное за 35 лет наблюдений. По-видимому, наблюдается автохтонное колебание численности куницы в пределах емкости угодий. Число встреч и

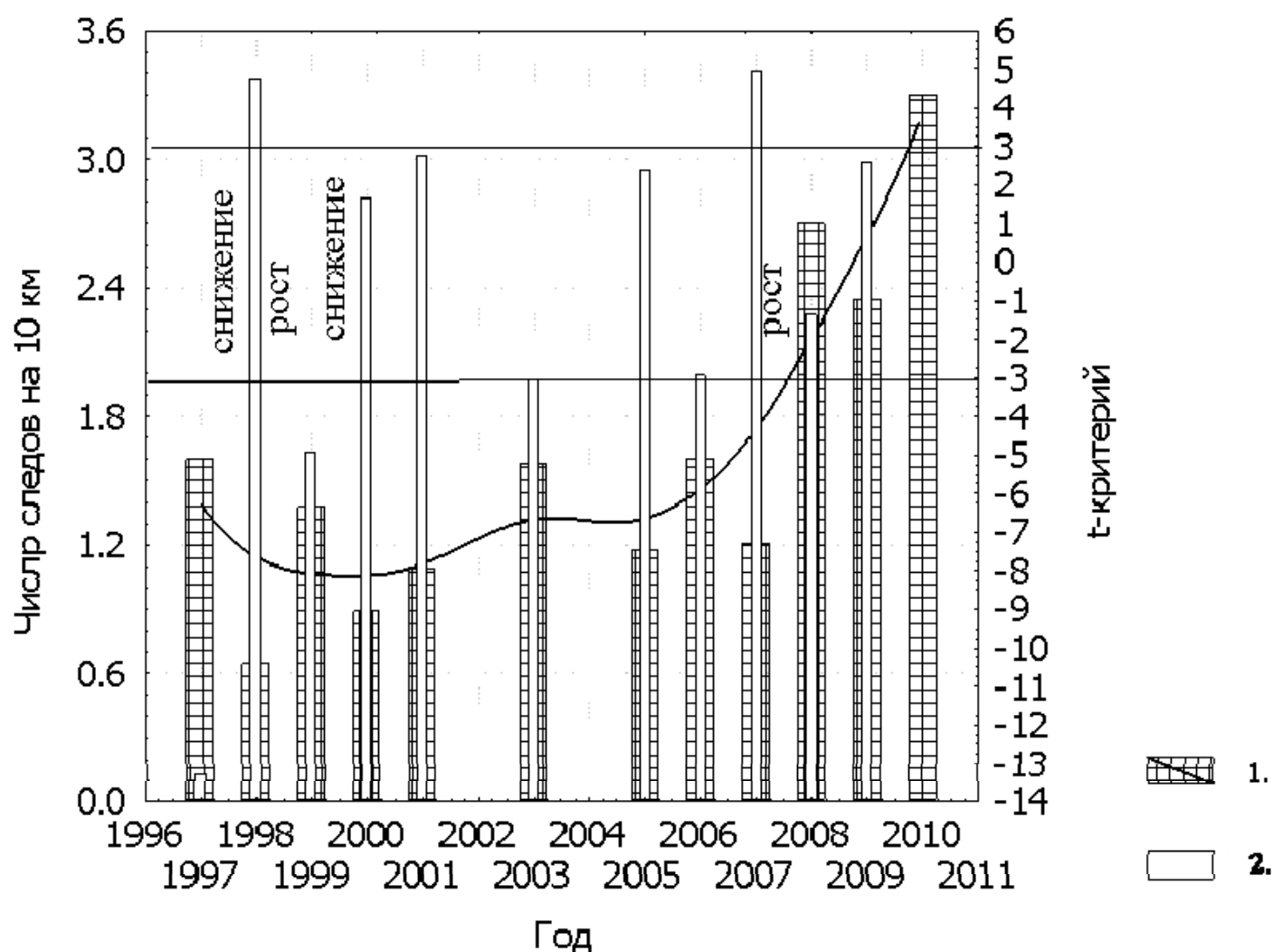


Рис. 4а. Динамика числа следов лоса на 10 км по ЗМУ.

1. – число следов, черная сплошная линия – сглаженное изменение численности.
2. – t-критерий показывает статистическую значимость отношения следов в год $i+1$, к году i ; $t > \text{abs}(3)$ – отношение с вероятностью больше 0.999 отлично от 1.

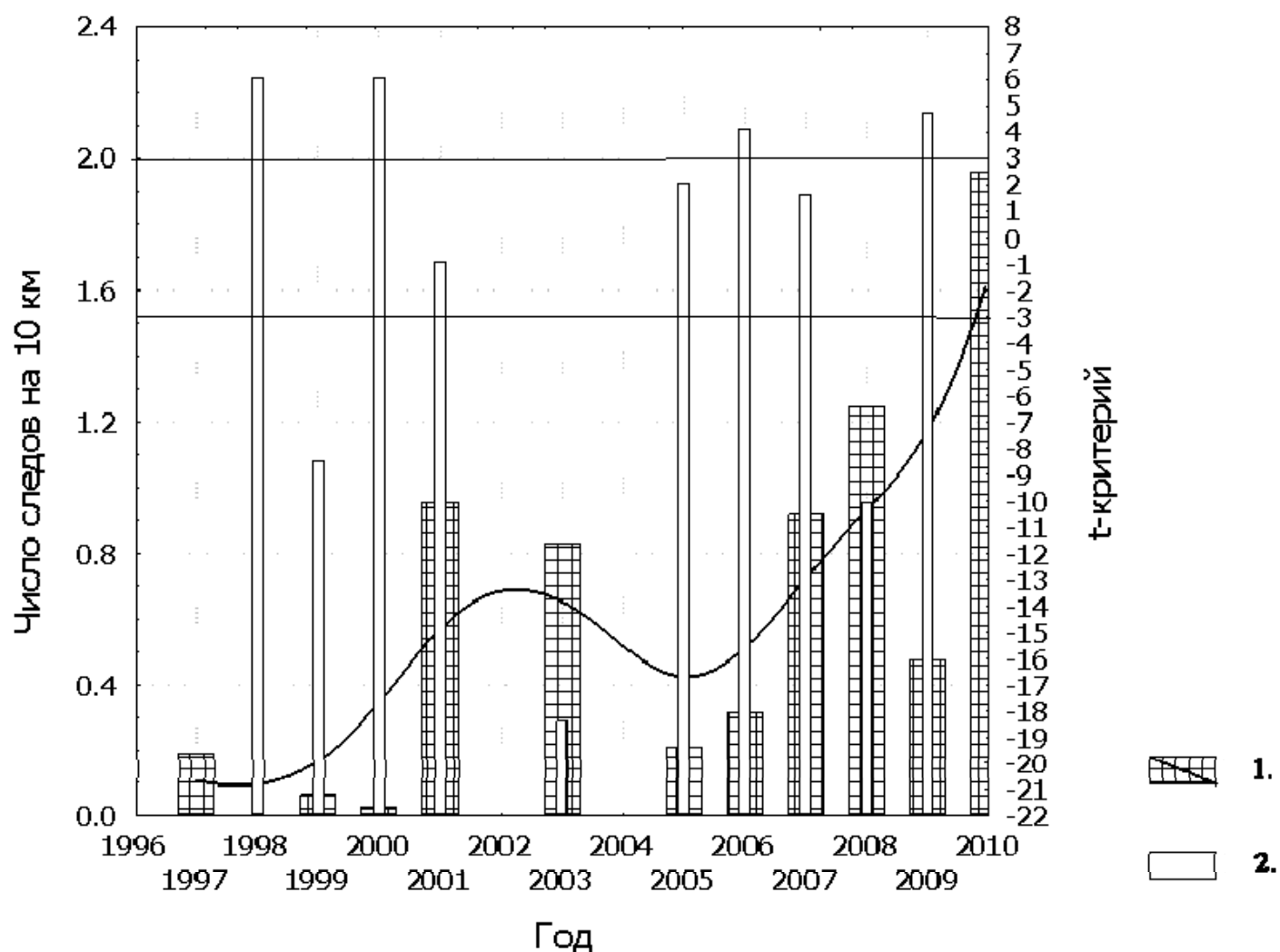


Рис. 4б. Динамика числа следов кабана на 10 км по ЗМУ.

1. – число следов, черная сплошная линия – сглаженное изменение численности.
2. – t-критерий показывает статистическую значимость отношения следов в год $i+1$, к году i ; $t > \text{abs}(3)$ – отношение с вероятностью больше 0.999 отлично от 1.

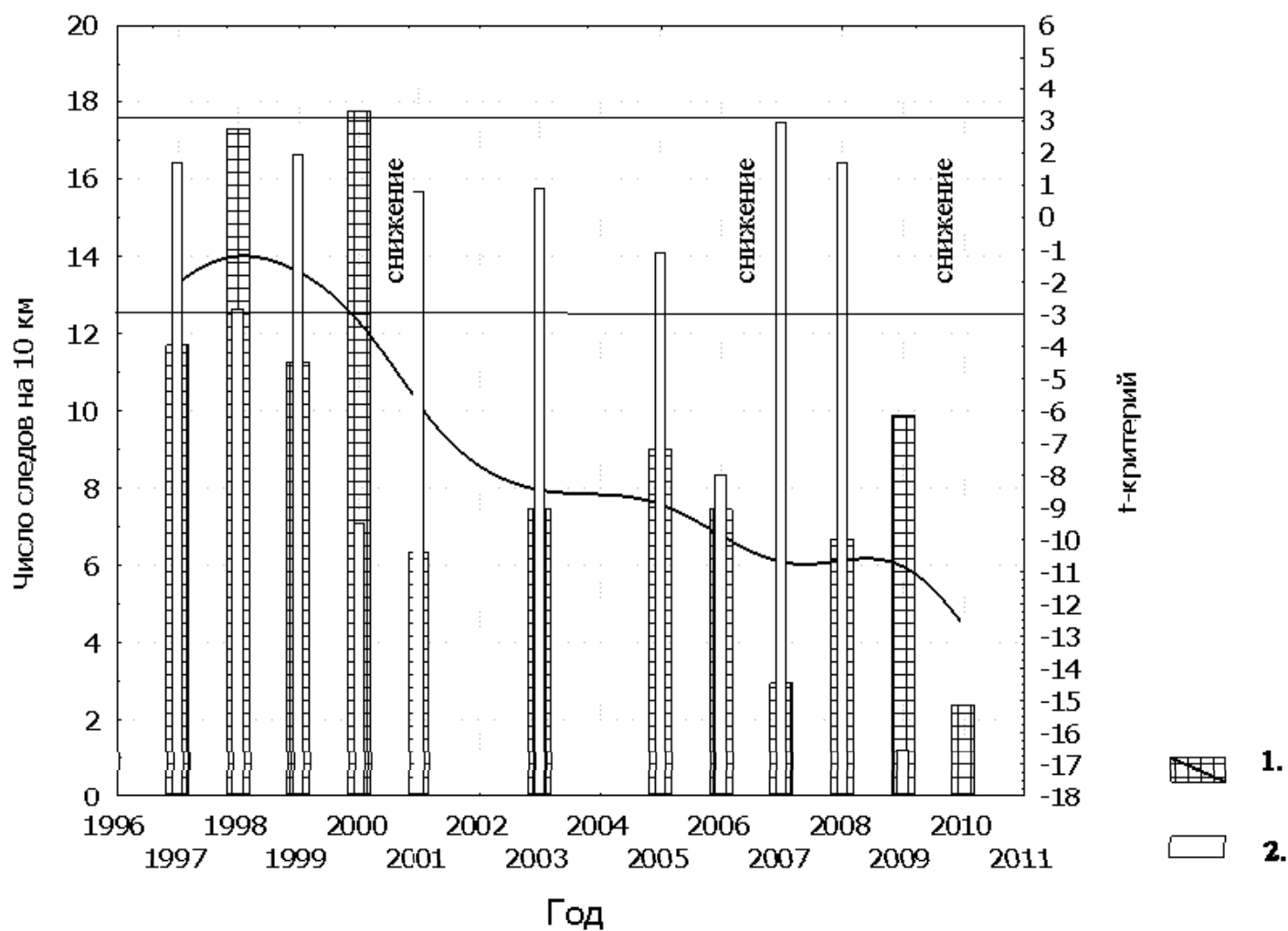


Рис. 4в. Динамика числа следов зайца на 10 км по ЗМУ.

1. – число следов, черная сплошная линия – сглаженное изменение численности.

2. – t-критерий показывает статистическую значимость отношения следов в год $i+1$, к году i ; $t > \text{abs}(3)$ – отношение с вероятностью больше 0.999 отлично от 1.

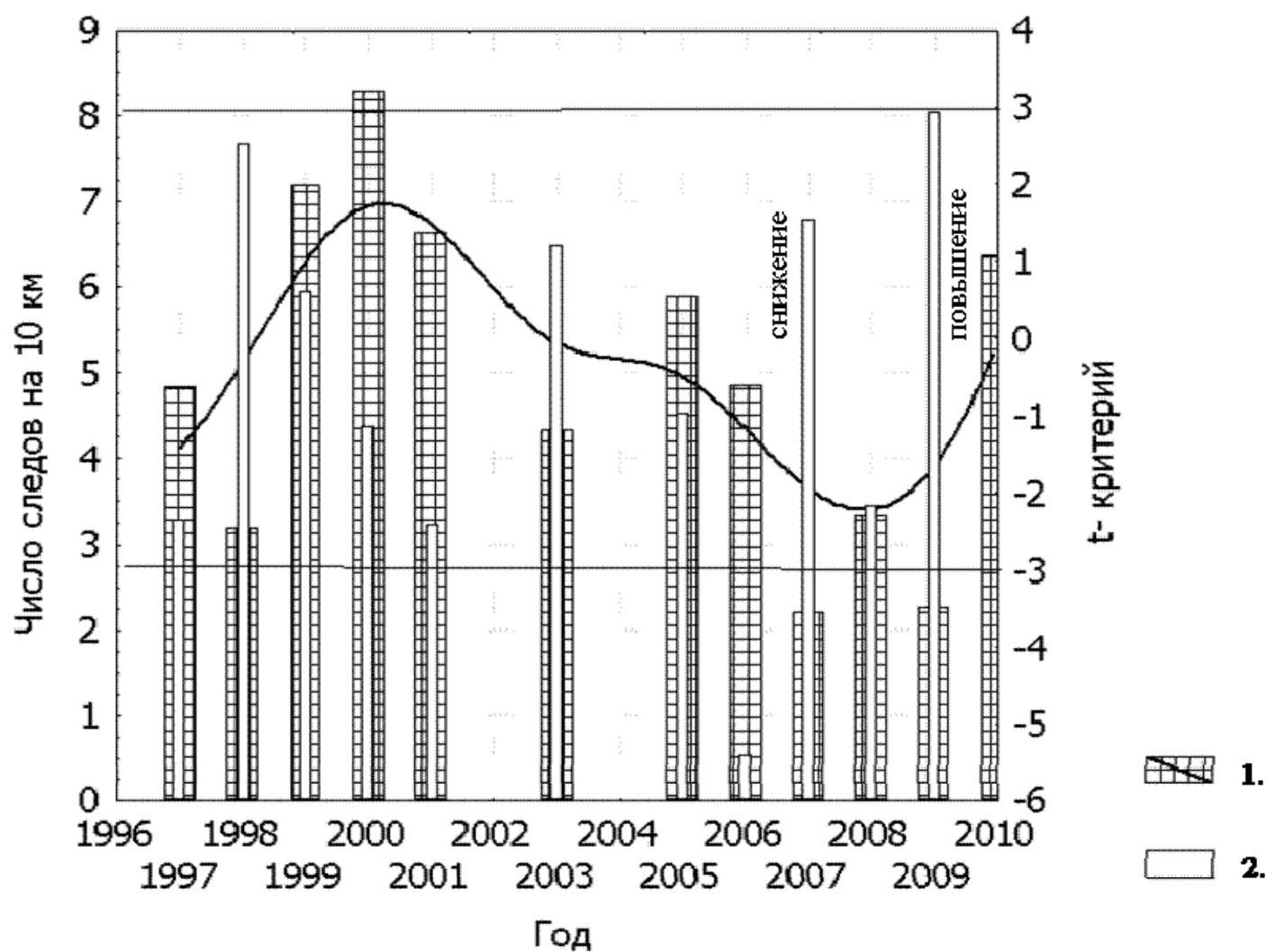


Рис. 4г. Динамика числа следов куницы на 10 км по ЗМУ.

1. – число следов, черная сплошная линия – сглаженное изменение численности.

2. – t-критерий показывает статистическую значимость отношения следов в год $i+1$, к году i ; $t > \text{abs}(3)$ – отношение с вероятностью больше 0.999 отлично от 1.

следов рябчика и глухаря, а так же их осенние учеты за последние четыре года дают значения близкие к средним многолетним. Численность тетерева в 1999 году была в 10 раз выше текущей, что, по-видимому, и находит отражение в низком использовании емкости угодий. К сожалению, проверить информативность оценки текущей емкости угодий, получаемой на основе дискриминантного анализа из-за невысокой надежности учетов по остальным видам, не представляется возможным.

Обсуждение результатов

Рассматриваемая территория относительно не велика, в связи с чем сеть маршрутов общей длиной 240 км дает по большинству видов оценку сопоставимую с оценкой по интерполяции. Однако из расчетов следует, что даже для такой территории достаточно всего 100-120 км маршрутов, отражающих разнообразие местообитаний. Если речь идет о хозяйствах площадью 100-200 тыс. га, то применение интерполяции встречаемости следов на основе дистанционной информации и рельефа может существенно улучшить оценку и даст представления об наиболее вероятном размещении популяций охотничье-промысловых видов по территории. При этом маршруты учетов можно размещать на доступном расстоянии от места проживания или базирования наблюдателей. Конечно, и в этом случае проектируемая сеть учетов должна охватывать все варианты местообитаний, которые можно выделить на основе той же дистанционной информации. Наконец, для полностью недоступных территорий вместо экспертных оценок можно приводить результаты более надежной статистической интерполяции. В этом случае, возможно, придется обратиться к нейронным сетям и давать оценку как среднюю их многих моделей с соответствующей ошибкой. Использование пикселя как элементарной единицы учета позволяет ввести естественные оценки ошибок на основе биномиального распределения и использовать их для принятия практических решения и надежного слежения за динамикой численности.

Видовые карты пригодности местообитаний, получаемые на основе дискриминантной модели, накапливаемые за разные годы, могут дать важную информацию об использовании территории популяциями и содействовать повышению эффективности охоты и управлению ее размещением. Интерполяция вероятности встречи следов осуществляется для пикселей всей территории. Линии пикселей образуют фактически линейные маршруты, что дает формальные основания применения пересчетного коэффициента, вытекающего из модели геометрической вероятности.

Проведение учетов с GPS-навигатором и с использованием ГИС содержащей информацию о свойствах среды для охотничьего хозяйства или кластера из нескольких хозяйств требует определенной технической подготовки. Освоение этой технологии не вызовет особых затруднений среди специалистов охотоведов, зоологов, экологов и географов. При этом базовая работа по созданию такой ГИС может быть составной частью внутри- и межхозяйственного охотустройства.

Конечно, в рассматриваемой работе демонстрируются лишь основания методики. Для разработки ее нормативной базы требуются тестовые работы в различных регионах России. Однако, есть основания полагать, что в конечном

итоге она создает основу для снижения трудозатрат на учеты, повышения их качества, надежности оценки численности и способна давать информацию для оперативного управления популяциями охотничьих животных.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 09-04-00460а, № 10-05-00039а. Авторы выражают признательность Д.Н. Козлову (Географический ф-т МГУ им М.В. Ломоносова) за предоставленные им утилиты для ПО MapInfo, а также сотрудникам ЦЛГПБЗ осуществлявшим ЗМУ.

Литература

Данилов И.П. Охота в Карелии, Очерки экологии видов для охоты в Карелии 2007. http://welcome-karelia.ru/Hunter/Glava_2/

Желтухин А.С., Пузаченко Ю.Г., Козлов Д.Н., Кораблёв Н.П., Сандлерский Р.Б. Оценка качества местообитаний животных на основе учетов следовой активности и дистанционной информации // Вестник охотоведения 2008. Т. 5, № 1 С. 5-16

Желтухин А.С., Пузаченко Ю.Г., Козлов Д.Н., Сандлерский Р.Б., Кораблев Н.П. Применение современных методов сбора и анализа полевых материалов при составлении карты местообитаний и оценке качества среды млекопитающих и птиц в заповедниках: Материалы Юбилейной конференции, посвященной 75-летию заповедника «Заповедники России и устойчивое развитие», 21-25 августа 2007 года. Труды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Выпуск 5. Великие Луки, 2007. С. 227-243

Желтухин А.С., Пузаченко Ю.Г., Кораблев Н.П. Козлов Д.Н., Сандлерский Р.Б.. Смена стадий млекопитающими в течение зимнего сезона: IV Всероссийская конференция по поведению животных. Сборник тезисов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. С. 250-251

Кузякин В.А. Результаты моделирования зимнего маршрутного учета. Главное управление охотничьего хозяйства и заповедников при Совете министров РСФСР. Москва. 1983. С. 193-221

Кендалл М., Моран П. Геометрические вероятности. М.: Наука, 1972. 303 с.

Котлов И.П., Пузаченко Ю.Г., Структура рельефа Русской равнины как ландшафтообразующего фактора // Аэрокосмические методы и информационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: доклады 4-ой Международной конференции (Москва, 17 – 19 апреля 2007 г.) – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. С. 202-205

Кренке А.Н., Пузаченко Ю.Г. Построение карты ландшафтного покрова на основе дистанционной информации // Экологическое планирование и управление 2008. № 2. С. 10-25

Первый опыт Всероссийского зимнего маршрутного учета охотничьих зверей, Бюро технической информации. Главное управление охотничьего хозяйства и заповедников при Совете министров РСФСР. Москва. 1965. 420 с.

Приклонский С.Г. Пересчетные коэффициенты для обработки данных зимнего учета промысловых зверей//Бюлл. Московского общества испытателей природы. Отд. Биологии, т. LXX(6). 1965 С. 5-11

Приклонский С.Г. Инструкция по зимнему маршрутному учету. М.: Колос. 1972. 16 с.

Пузаченко Ю.Г., Звенигородская М.Э. Критерии оценки критического состояния популяций млекопитающих // Популяционные исследования животных в заповедниках. Л.: Наука. 1988. С. 8-24

Пузаченко Ю.Г., Желтухин А.С., Сандлерский Р.Б. Оценка качества местообитаний // Материалы конференции «Современные проблемы зоо- и филогеографии млекопитающих», Пенза, 15 -19 мая 2009. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. с. 82

Пузаченко Ю.Г., Желтухин А.С., Сандлерский Р.Б. Развитие методов охоттаксации на основе дистанционной информации // XXIX Международный конгресс биологов-охотоведов. Сборник материалов (Москва, 17-22 августа 2009 г.). Часть 1. М., 2009. 151 с.

Пузаченко Ю.Г., Желтухин А.С., Сандлерский Р.Б. Анализ пространственно-временной динамики экологической ниши на примере популяции лесной куницы (*Martes martes*) //Журнал общей биологии, 2010, том 71, № 6. С. 467-487.

Уатт К. Экология и управление природными ресурсами. М.: Мир, 1971, 463 с.

Челенцов Н.Г. Методические основы зимнего учета. Зимний маршрутный учет охотничьих животных // Сб. научных трудов. Главное управление охотничьего хозяйства и заповедников при Совете министров РСФСР. Москва, 1983. С. 158-189

Шмидт-Ниельсен К. Размеры животных: Почему они важны? М.: Мир. 1987. 259 с.

Методические рекомендации по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных в России. Сост. В.С. Мирутенко, Н.В. Ломанова, А.Е. Берсенев, Н.А. Моргунов, О.А. Володина, В.А. Кузякин, Н.Г. Челинцев. М.: Минсельхоз России. 2009. 44 с.
<http://www.mooir.ru/docs/5555-66779.pdf>

Engelhard G.H., Dieckmann U., Godo O.R., 2003. Age at maturation predicted from routine scale measurements in Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus*) using discriminant and neural network analyses // ICES Journal of Marine Science. № 60 P. 304-31

Hirzel A.H., Helfer V., Metral F. Assessing habitat-suitability models with a virtual species. // Ecological Modeling. 2001. V. 145. P. 111-121

Hirzel A.H., Hausser J., Chesser D., Perrin N. Ecological-Niche factor analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? // Ecology. 2002. V. 83. №7. P. 2027-2036

Manel S., Dias J.M., Ormerod S.J. Comparing discriminant analysis, neural networks and logistic regression for predicting species distributions: a case study with a Himalayan river bird // *Ecological Modeling*. 1999. V. 120. №. 2-3. P. 337-347

Manel S., Williams H.C., Ormerod S.J. Evaluating Presence-Absence Models in Ecology: The Need to Account for Prevalence // *The Journal of Applied Ecology*. 2001. V. 38. №. 5. P. 921-931

McPherson J.M., Jetz W., Rogers D.J. The effects of species' range sizes on the accuracy of distribution models: ecological phenomenon or statistical artefact? // *Journal of Applied Ecology*. 2004. V. 41. № 5. P. 811-823

Peterson A.T. Ecologic Niche Modeling and Spatial Patterns of Disease Transmission // *Emerging Infectious Diseases*. 2006. V. 12. № 12. P. 1822-1826