

На правах рукописи

МОРДВИНЦЕВ Илья Николаевич

**ЭКОЛОГИЯ БЕЛОГО МЕДВЕДЯ ПО МНОГОЛЕТНИМ
БИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИМ И СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ**

03.00.16 – Экология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

Москва - 2003

Работа выполнена в группе экоинформационных систем и космического мониторинга Института проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Бельчанский Г.И.

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук Савинецкий А. Б.

доктор физико-математических наук Козодеров В. В.

Ведущая организация: Институт географии Российской Академии Наук

Защита состоится 21 октября 2003 г. в _____ ч. _____ мин. на заседании диссертационного совета Д 002.213.01 Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, 119071, Москва, Ленинский проспект, 33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН

Автореферат разослан _____ сентября 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд.биол.наук

Л.Т.Капралова

2003-A
14660

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Популяция белых медведей условно разделяется на 15 эколого-географических группировок с численностью 21470-28370 особей и плотностью распределения порядка 1 особь на 141-269 км². Основные принципы выделения группировок базируются на общих эколого-географических критериях. Степень изученности ключевых аспектов экологии белого медведя характеризуется значительной неравномерностью. По оценкам Международной экспертной группы специалистов по белому медведю наименее изученными являются Чукотская, Лаптевская, Земли Франца-Иосифа и Новой Земли, Шпицбергенская и Гренландская группировки, обитающие в акваториях морей Российской Арктики. Это объясняется тем, что последнее десятилетие другие группировки интенсивно исследовались с использованием наземных, самолетных и спутниковых систем наблюдений и биотелеметрии. Традиционные методы имеют ряд существенных недостатков, обусловленных сложностью наземных методов сбора данных в экстремальных условиях Арктики. Поэтому требуется создание оперативных методов мониторинга, отвечающих реальной динамике перемещений медведей на большой территории Арктики в условиях значительной variability местообитаний. К малоизученным аспектам экологии белых медведей Российской Арктики относятся сезонная и годовая активность, мобильность, пространственная ориентация для различных репродукционных статусов самок, характер использования типов местообитаний (суши, островов, типов морского льда) и др. Существующий уровень знаний затрудняет создание строгой теории механизма взаимодействия вида с быстроизменяющейся средой обитания Арктики. Фрагментарные исследования отдельных группировок Российской Арктики на основе космического мониторинга были начаты в



ИПЭЭ РАН с участием диссертанта в 1992 г. В 1992-1998 гг. впервые были разработаны методы оценивания пространственно-временной динамики параметров местообитаний, границ ареалов и характера использования ресурсов по синхронным данным спутниковой биотелеметрии и дистанционного зондирования.

В диссертации на основе развития систематического спутникового мониторинга впервые созданы некоторые теоретические основы изучения механизмов поведения и адаптации белого медведя, выполнены экспериментальные исследования, подтверждающие высокую эффективность космического мониторинга для изучения активности, мобильности, направления перемещений, поведения, характера использования местообитаний в экстремальных условиях и при отсутствии освещенности.

Объект исследований. Изучение экология белого медведя в естественных условиях обитания по данным спутниковой биотелеметрии, синхронного дистанционного зондирования и морфометрических измерений в период мечения.

Предмет исследований. Новые методы мониторинга на основе использования современных космических систем наблюдения для изучения экологии белого медведя, механизмы адаптации и поведения по оценкам типов местообитаний, эколого-географическая дифференциация, активность, мобильность, стратегии перемещений и использования ресурсов, границы ареалов, биологические циклы, математические модели оценки типов местообитаний и характера использования ресурсов.

Цель работы. Основной целью диссертации являлось изучение экологии белого медведя в экстремальных условиях Арктики и глобальных изменений, создание фундаментальных основ изучения механизмов адаптации и поведения на базе оценок существенных экологических параметров, математических методов оценки селективности типов

морского льда, синтезированных с использованием спутниковых измерений высокого разрешения и данных биотелеметрии. Значительное место в работе занимают исследования и разработка новых методов и алгоритмов обработки данных спутниковой телеметрии и дистанционного зондирования для изучения региональных и сезонных изменений мобильности белых медведей, характера использования типов местообитаний в зависимости от репродуктивного статуса самок.

Задачи исследования:

- Изучение методов получения данных по экологии белого медведя и сравнительный анализ результатов исследований в нашей стране и за рубежом;
- Исследование и разработка современных методов мониторинга для картографирования арктических местообитаний на основе спутникового мониторинга и биотелеметрии;
- Разработка методологии и проведение непрерывного синхронного мониторинга группировок белых медведей в арктических морях России;
- Исследование и разработка алгоритмов первичной обработки и классификации местообитаний по спутниковым микроволновым данным;
- Разработка алгоритмов и программ для оценки доступных категорий местообитаний белых медведей в терминах концентраций и типов морского льда с использованием данных спутникового мониторинга;
- Разработка алгоритмов и программ для оценки характера использования белыми медведями типов местообитаний на основе максимума функции правдоподобия, проверка статистических гипотез о предпочтительном выборе категорий местообитаний;
- Исследование региональных и сезонных изменений активности и

мобильности белых медведей и характера использования типов местообитаний в зависимости от репродуктивного статуса.

Методологическая основа. В работе применен метод научного познания, базирующийся на экологических исследованиях с использованием спутниковых биотелеметрических и сенсорных измерений, моделирования, геоинформационных систем и информационных технологий. При разработке алгоритмов использовались методы физики морского льда, математической статистики и математической картографии. Для обработки и расчета результатов исследований применялись стандартные пакеты и программные разработки группы экоинформационных систем и космического мониторинга ИПЭЭ РАН.

Теоретические основы исследования. Теоретические основы исследований базируются на достижениях современной зоологии, экологии, дистанционных методов, спутниковой биотелеметрии, оценках индексов разнообразия местообитаний, методах корреляционного анализа, статистических оценках индексов селективности, параметрических и непараметрических статистических критериев сравнения; интегрированных базах данных дистанционного зондирования, биотелеметрии, морфометрических измерений.

Научная новизна диссертации. Автором впервые получены оценки ареала обитания, активности и мобильности самок белого медведя в Баренцевом, Карском и Лаптевых морях и показана зависимость перемещений самок от динамики ледового покрова и репродуктивного статуса, доказано отсутствие традиционно используемых понятий путей миграций белого медведя, справедливость гипотезы об избирательном характере использования самками белого медведя определенных типов местообитаний, изменяющемся в зависимости от сезонов года и репродуктивного статуса. По данным телеметрии определены

местоположения родовых и временных берлог, даты залегания и выхода из берлог, оценены активность и направления перемещений самок после выхода из берлог. Показано, что в указанных регионах родовые берлоги располагаются как на суше, так и на морском льду. Впервые созданы многолетние базы данных, позволяющие анализировать различные гипотезы о механизмах поведения и адаптации белого медведя к экстремальным условиям Арктики. Разработаны методология, алгоритмы и программы для оценки характера использования самками белых медведей основных типов местообитаний и проверки статистических гипотез о предпочтительном выборе категорий местообитаний.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Методология мониторинга и сбора данных по экологии белого медведя на основе современных систем спутникового зондирования и биотелеметрии для картографирования арктических местообитаний.
2. Алгоритмы первичной обработки изображений и классификации типов морского льда по микроволновым данным (алгоритмы классификации на основе модели линейной смеси и эталонных таблиц).
3. Анализ методов сбора и обработки данных спутниковой биотелеметрии для слежения за перемещениями самок белых медведей, определения времени залегания и выхода их родовых берлог и анализ морфометрических данных, полученных в период мечения.
4. Методы обработки данных спутниковой телеметрии для исследования региональных и сезонных изменений мобильности белых медведей и изучения характера использования типов местообитаний на основе оценок функций предпочтительности и статистических тестов.
5. Методы исследования мобильности и характера использования типов местообитаний в зависимости от трехгодичного репродуктивного статуса.

Практическая ценность работы. Использование спутниковых средств слежения позволяет изучить статус различных популяций белого медведя, особенности экологии самок белого медведя в зависимости от репродуктивного статуса и учитывать их при оценке состояния популяции белого медведя и организации ее охраны. Разработанные методологии и проведенные исследования имеют важное значение для систематических исследований экологии этого вида: структуры и численности популяции, современных границ ареала, мест размножения, кормовых ресурсов, возможных изменений среды обитания и др.

Основные результаты работы предложены для использования: 1) в Отделение биологических наук РАН как фундаментальные исследования местообитаний крупных млекопитающих Арктики; 2) в Министерство природных ресурсов для оценки статуса популяции белого медведя в морях Российской Арктики; 3) в Министерство промышленности, науки и технологий РФ для разработки новых поколений сенсоров для экологического мониторинга, алгоритмов обработки данных и технологии тематического картографирования местообитаний в условиях глобальных изменений климата.

Апробация результатов исследования. Различные разделы работы апробировались на: 1) Международном симпозиуме «Применение дистанционного зондирования в науках о Земле», IGARSS'96. Линкольн, Небраска, США, 27-31 мая 1996 г.; 2) Международном симпозиуме «Применение дистанционного зондирования в науках о Земле», IGARSS'97, Сингапур, 4-8 августа 1997 г.; 3) Российско-Американском симпозиуме, посвященный 25-летию Российско-Американского соглашения по охране окружающей среды. Вашингтон, США, 15-18 июня 1997 г.; 4) Международный симпозиуме «Применение дистанционного зондирования в науках о Земле», IGARSS'99. Гамбург, Германия. 28 июня – 2 июля 1999 г.; 5) Международном симпозиуме по проблемам

исследований Арктики и глобальным изменениям, Фэрбанк, США, 23-26 октября 2000 г.; 6) Всероссийской научной конференции «Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы аэрокосмическими средствами», Муром, 20-22 июня 2001 г.; 7) Международном симпозиуме «Влияние Арктики на глобальные изменения», Рованиemi, Финляндия, 25-27 октября 2001 г.

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано 12 статей и 10 научных отчетов.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 107 источника. Объем работы: 140 страницы текста, 28 рисунков, 40 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Во введении выполнен анализ основных зарубежных и отечественных работ по исследованию экологии белого медведя (*Ursus maritimus*). Рассмотрены традиционные и современные методы получения данных (наземный учет, авиаучет, учет с судна, спутниковая биотелеметрия и дистанционное зондирование). Среди перспективных систем мониторинга Арктики проанализированы радиометрические комплексы типа ОКЕАН-01 (МСУ, РЛСБО, РМ-08), обеспечивающие синхронные пассивные и активные измерения с пространственным разрешением 1 км. Изложены наиболее важные проблемы экологии белого медведя: ареал распространения, направления перемещений, активность, мобильность, особенности репродуктивного цикла, структура популяции, поведение и численность. Выполнена систематизация основных результатов научных исследований в нашей стране и за рубежом. Представлено описание направлений дальнейших исследований белого медведя с использованием более совершенных методов получения и обработки данных, включающих биотелеметрическое слежение за

самцами и растущими особями путем радиомечения имплантантами передатчиками, использование интегрированного мультисенсорного дистанционного зондирования с различным пространственным разрешением для детального изучения местообитаний белого медведя. Особое внимание уделяется обоснованию актуальности темы, степени изученности проблемы, целям и задачам исследования, новизне результатов, теоретической и практической значимости диссертационной работы, приводятся данные по ее апробации.

Глава I. Исследование и разработка методов мониторинга арктических местообитаний на основе спутниковых дистанционных данных и биотелеметрии

Представлен анализ особенностей мониторинга и сбора данных для картографирования Арктических местообитаний. Анализируются различные современные системы спутникового мониторинга Арктики (спутники серии КОСМОС-ОКЕАН, ERS, JERS, RADARSAT, системы SMMR, SSM/I на базе спутников DMSP 5D-2 F8, F11, F13, система AVHRR на базе спутников NOAA). Разработаны алгоритмы предварительной обработки и классификации типов морского льда по данным ОКЕАН-01. Особое внимание уделяется алгоритмам классификации на основе эталонных таблиц, системам сбора данных о температуре и движении морского льда с международной сети буев. Основные процедуры обработки спутниковых цифровых изображений включали географическую привязку каждого элемента изображения (на основе орбитальных данных, модели земного эллипсоида, параметров системы бортовой обработки данных и угловой ориентации спутника, баз данных контуров береговых линий), радиометрическую коррекцию, оценку радиояркостной температуры и удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР), статистический анализ УЭПР и построение эталонных таблиц, представление результатов обработки в полярной

стереографической проекции, оценку типов морского льда, построение мозаичных карт ледового покрова, сравнительную оценку результатов. Алгоритм классификации на основе эталонных таблиц (математических ожиданий и среднеквадратических отклонений УЭПР для различных типов льда как функции сезона и местоположения региона) базировался на максимизации функции правдоподобия. Процесс классификации включал кластеризацию данных для определения доминирующего кластера и классификацию данных по максимуму функции правдоподобия с использованием откорректированных значений эталонных таблиц. По результатам анализа двухканальных данных и двумерных кластеров, соответствующих консолидированным фракциям открытой воды (OW), однолетнего (FY) и многолетнего (MY) морского льда, на каждом изображении были оценены УЭПР базовых типов морского льда.

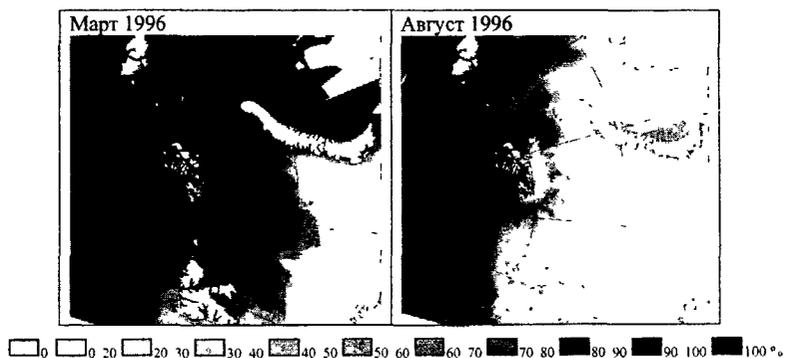


Рисунок 1. Пример карты местообитаний в терминах концентраций, синтезированной данным спутника ОКЕАН-01 в период максимальной и минимальной протяженности ледового покрова.

При картографировании местообитаний обработка данных ОКЕАН-01 и включала: калибровку изображений, оценку радиояркостной температуры и УЭПР подстилающей поверхности, георегистрацию, классификацию с использованием модели линейной смеси и эталонных таблиц для определения основных параметров местообитаний. На основе

разработанных алгоритмов и программных средств создана база данных карт местообитаний регионов Баренцева, Карского и Лаптевых морей на период 1995-1998 годов. Карты представлены в полярной стереографической проекции в терминах типов ледового покрова: многолетний лед, однолетний лед, однолетний деформированный лед и открытая вода. Автором было создано более 500 карт для изучения экологии белого медведя. Проведенные исследования показали высокую эффективность мониторинга арктических местообитаний с использованием спутников серии ОКЕАН-01.

Глава II. Анализ изучаемых регионов и данных биотелеметрии

В данной главе представлены анализ физико-географических характеристик изучаемых регионов Арктики, специфики сбора и обработки данных спутниковой биотелеметрии и анализ морфометрических данных полученных в период мечения самок белых медведей в апреле 1994 и апреле 1995 г. Спутниковая биотелеметрия включала данные, поступившие от радиомеченных особей самок белых медведей в районах морей Российской Арктики (апрель 1994 – январь 1998 г.). Датчики, установленные на животных, имели вес 1.5-1.7 кг. Режим передачи данных определялся частотой прохода спутника над географическим районом и фенологией изучаемого вида, местоположения животных оценивались в период каждого обращения (40-50 мин.) спутника по доплеровскому эффекту. В рамках наших исследований данные поступали от животных в течение 8-часов один раз 5-6 дней. Точность оценки координат каждого животного в период одного прохода спутника определялась временем нахождения радиомеченной особи в зоне видимости спутника и количества получаемых сообщений, положением датчиков относительно подспутникового следа, точностью определения элементов орбиты, топографических параметров изучаемого района. В

общем случае она характеризовалась ошибкой определения расстояния и составляла менее 1 км при уровне значимости 0.35. В результате анализа данных биотелеметрии белые медведи были разделены на три субпопуляции (Баренцевская, Карская и Лаптевская) в соответствии с индивидуальными годовыми ареалами обитания. Основное условие включения особи в популяцию основано на необходимости 95%-ного пересечения контуров годовых ареалов. В табл. 1 представлен пример разделения самок белых медведей на субпопуляции в соответствии с сформулированными условиями.

Таблица 1. Распределение белых медведей в исследуемом регионе и число местоположений за период наблюдений

Баренцево море (10 самок белого медведя)	Карское море (14 самок белого медведя)	Море Лаптевых (4 самки белого медведя)
20063 (*62, 24 04.95-22.11.97)	20036 (*175, 25 04 94-02 06.97)	20044 (*183, 27.04 94 04.03.97)
20064 (*87, 24 04.95-10.12.97)	20037 (*131, 25.04.94-7.02 97)	20045(*157, 29 04 94-09.12.95)
20068 (*64, 25 04.95-08.10.95)	20038 (*70, 26 04 94-14 09 95)	20046(*143, 29 04 94-13.08 95)
20069 (*100, 25.04.95-04 04.97)	20043 (*89, 26 04 94-21 08 96)	200471(*16, 30.04 94-09.08.96)
20070 (*146, 25 04.95-12.11.97)	20050 (*89, 26 04 94-21 08.96)	
20071 (*51, 25 04 95-21.04 98)	20051 (*146, 16 04 95-10 09 97)	
20072 (*56, 25 04 95-03.06 97)	20052 (*12, 17 04 95-08 06 95)	
20080 (*103, 27 04.95-09.08.96)	20055 (*71, 17 04 95-23.07 95)	
20081 (*11, 27.04 95-21.05.97)	20056 (*66, 17 04 95-04.05.97)	
20082 (*91, 27 04 95-03 04 97)	20057 (*82, 17 04 95-01 06 97)	
	20060 (*99, 18 04.95-17.12 97)	
	20061 (*131, 18 04.95-14 03 98)	
	20062 (*120, 24 04.95-18 09.97)	
	20073 (*140, 26 04.95-14 12 97)	

* Количество местоположений самок белого медведя за период наблюдения.

Глава III. Исследование мобильности белого медведя и характера использования местообитаний по данным спутникового мониторинга

Представлены исследования по методам обработки данных спутниковой биотелеметрии для изучения региональных и сезонных изменений активности и мобильности белых медведей и характера использования типов местообитаний. Методология оценки использования типов местообитаний базируется на основе оценок индекса селективности. Индексы селективности параметров местообитаний оценивались путем нахождения максимума функции правдоподобия вида:

$$L = \prod_{i=1}^D \left(\begin{array}{c} \sum_{j=1}^H A_{ij} W_j O_{ij} \\ \sum_{j=1}^H A_{ij} W_j \end{array} \right)$$

где: A_{ij} – доступный тип местообитания j в момент i , W_j – индекс селективности, O_{ij} – удовлетворяет условию $\sum_{i=1}^D O_{ik} = \sum_{i=1}^D \bar{P}_{ik}$, где P_{ik}

определяется из формулы
$$P_{ik} = \frac{A_{ik} W_k}{\sum_{j=1}^H A_{ij} W_j}.$$

Вариабельность местообитаний оценивалась по критериям Шеннона, Шелдона, Симпсона, Макинтоша. Процедура вычислений указанных характеристик выполнялась по дискретным оценкам основных параметров местообитания по данным дистанционного зондирования на моменты получения координат каждой особи по данным биотелеметрии. Такой способ (в отличие от традиционных) позволяет изучать характер использования ресурсов местообитания в условиях значительной их вариабельности в пространстве и времени. Для оценки параметров местообитания использовались результаты классификации изображений ОКЕАН-01. Конфигурация и размеры местообитания определились исходя из следующих предпосылок: обеспечение некоррелированности наблюдений (период наблюдения каждой особи характеризовался одним измерением за шесть суток), максимально возможным среднесуточным перемещением, равновероятностью направления движения особи с момента последнего наблюдения. Исходя из этих условий, для каждой особи, был определен радиус круга с центром в месте нахождения медведя в момент последнего наблюдения (рис. 2).

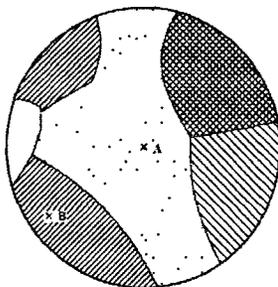


Рисунок 2. Пример круга, иллюстрирующего методику определения использованной и доступных категорий местообитания белого медведя.

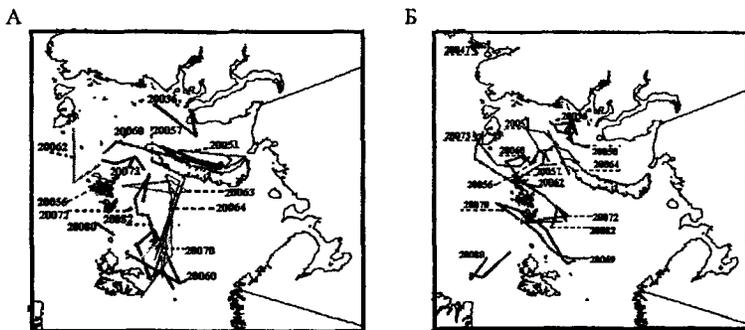


Рисунок 3. Трасктории перемещения самок белых медведей в период максимальной протяженности ледового покрова в январе-мае (А) и в период таяния-минимальной протяженности ледового покрова в июле-сентябре (Б).

В главе продемонстрирован избирательный характер поведения особей белых медведей по месяцам года, выявлена слабая привязанность особей к конкретным типам местообитаний в периоды март-май и октябрь-ноябрь (период активных перемещений). Обратная закономерность наблюдалась в феврале и июне-августе - высокая привязанность к конкретным типам местообитаний. При анализе динамики основных типов местообитаний показано доминирование однолетнего льда в периоды январь-июль и октябрь-декабрь. Минимальное значение процента однолетнего льда достигается в августе 14% (12.24). Временной интервал уменьшения доли

однолетнего льда включает август-сентябрь. Период уменьшения доли однолетнего льда сопровождается существенным увеличением доли многолетнего льда. Максимальное значение многолетнего льда достигается в августе 71.5% (15.1). Результаты статистического моделирования показали, что в конкретные сезоны частоты использования различных параметров местообитаний существенно отличаются от случайного. Таблица 2 иллюстрирует Пример оценки вероятности выбора определенных типов местообитаний в районе Баренцева-Карского морей.

Таблица 2. Оценки вероятности выбора определенных типов местообитаний в районе Баренцева-Карского морей, определенные на основе синхронных 6-ти суточных данных биотелесметрии

Тип местообитания	Количество местовахождений	Частоты распределения (р)	Доверительный интервал (р)
ноябрь-апрель			
Открытая вода	10	0.14	0.044 – 0.236
Однолетний лед	53	0.71	0.585 – 0.835
Многолетний лед	11	0.15	0.05- 0.248
май-октябрь			
Открытая вода	17	0.37	0.201 – 0.538
Однолетний лед	24	0.52	0.345 – 0.695
Многолетний лед	5	0.11	0.0007 – 0.219

Глава IV. Исследование мобильности самок белых медведей в зависимости от репродуктивного статуса и характера использования местообитаний по данным спутникового мониторинга

Представлены результаты исследований мобильности и характера использования типов местообитаний в зависимости от трехгодичного репродуктивного статуса. Показано, что значения как активности и мобильности изменяются по сезонам и в зависимости от репродуктивного статуса самки. При изучении распределения белых медведей и их передвижений учитывалось, была ли самка одна или в сопровождении детенышей, а также возраст детенышей. Исследования зависимости сезонных перемещений самок белых медведей от репродуктивного статуса проводились с использованием данных биотелеметрии по 28

особям в период апрель 1994 – январь 1998 гг. (3320 измерений). Текущий репродуктивный статус каждой самки определялся на основе анализа спутниковой биотелеметрии (температуры передатчиков, активности, перемещений) и данных о статусе самок в момент радиомечения. В зависимости от репродуктивного статуса были выделены следующие группы самок: 1-й год – беременные самки и самки с двухлетними медвежатами (по ализу последующего залегания в родовые берлоги), 2-й год - самки с новорожденными медвежатами (сеголетками), 3-й год - самки с годовальными медвежатами. В отдельную группу были выделены одинокие самки, не залегающие в родовые берлоги на протяжении всего периода наблюдений. Сезонная активность измерялась в терминах средних 6-суточных перемещений по данным о координатах животных на соответствующем временном интервале. Для оценки значимости отличий средних перемещений различных групп медведей использовались: t-критерий для связанных данных, взвешенный t-критерий и t-критерий для независимых данных. Одновременное сравнение средних значений перемещений групп животных осуществлялось на основе модифицированного метода Холмса для критерия Банфферрони.

Таблица 3. Сравнительный анализ параметров перемещений самок белых медведей с новорожденными медвежатами (статус II) в регионе Баренцева - Карского морей в период март-май 1994-1995 гг.

Параметры Перемещения	Регионы местонахождения берлог						F	P
	Карское море, Таймыр	Новая Земля	Восточная часть Земли Франца-Иосифа	Западная часть Земли Франца-Иосифа	Восточные и Западные части Земли Франца-Иосифа			
Суммарное расстояние (км)	365.1±59.1 (4)	434.9±43 (6)	424.4±1578 (3)	357.9±35 (3)	338.7±74.7 (2)	0.32	0.86	
Длина вектора перемещения (км)	211.5±38.1 (4)	217.7±26.2 (6)	271±73.8 (3)	195.5±55 (3)	166.5±14 (2)	0.66	0.63	

Таблица 4. Сравнения сезонных перемещений двух одиноких самок белых медведей на основе t-критерия ($\alpha=0.05$)

Месяцы	I	II	T	Df	P
Январь	34.44 ± 6.70 (12)	50.44 ± 12.73 (8)	1.15	18	0.27
Февраль	36.79 ± 8.59 (8)	37.85 ± 6.05 (10)	0.10	16	0.92
Март	56.75 ± 22.08 (5)	51.55 ± 9.19 (10)	0.38	13	0.71
Апрель	57.12 ± 11.69 (5)	66.54 ± 18.53 (7)	0.36	10	0.73
Май	74.86 ± 11.55 (10)	67.55 ± 18.83 (12)	0.32	9	0.76
Июнь	59.75 ± 8.19 (8)	77.54 ± 9.85 (12)	1.22	18	0.24
Июль	49.65 ± 24.52 (4)	87.67 ± 26.72 (7)	0.86	9	0.41
Август	42.04 ± 12.55 (8)	114.52 ± 2.78 (3)	5.24	2	0.03
Сентябрь	22.53 ± 8.31 (11)	91.02 ± 16.15 (11)	5.34	10	0.00
Октябрь	93.42 ± 23.46 (16)	114.45 ± 33.27 (6)	0.46	20	0.65
Ноябрь	67.55 ± 9.61 (15)	164.89 ± 27.12 (12)	3.24	11	0.01
Декабрь	34.07 ± 8.80 (14)	95.34 ± 20.29 (7)	3.07	19	0.01

Показано, что самки в первом и третьем статусах наиболее мобильны в летний период (июль, август), а во втором статусе - в осенний период (октябрь, ноябрь), максимальные 6 - суточные перемещения характеризуются значениями 81.70 ± 12.91 км (август), 107.82 ± 10.73 км (ноябрь), 90.35 ± 13.95 км (июль, декабрь) и 110 ± 15 км (ноябрь) для самок с первым, вторым и третьим статусами, соответственно. Летом беременные самки были более активны, чем самки с новорожденными медвежатами, и пик их активности совпадал с периодом максимального обилия кормов (август). Самки с новорожденными медвежатами были менее активны, чем самки с годовалыми медвежатами в периоды март – август, активность беременных самок значительно снижалась с сентября по декабрь (залегание в берлоги). Одинокие самки значительно снижали свою мобильность в зимний период. Минимальные перемещения одиноких самок наблюдались в период январь - февраль (34 - 50 км), средние – в период март - июль (51 - 75 км), максимальные – в период октябрь-ноябрь. Существенные различия перемещений между самками всех статусов наблюдались в ноябре. Высокую активность в этот период имели самки со вторым статусом, а наименьшую активность - беременные самки (табл. 3 и 4).

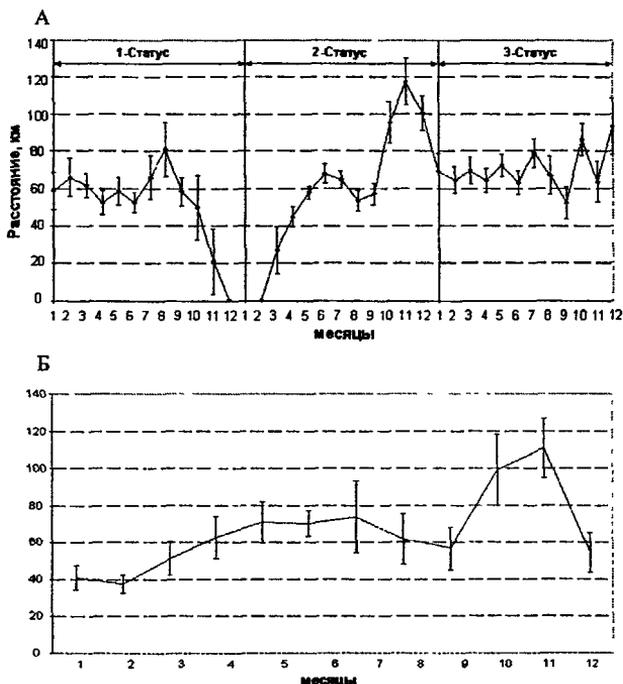


Рисунок 4. Сезонная динамика 6-ти суточных перемещений самок белых медведей для трех репродуктивных статусов в регионе Баренцева, Карского и Лаптевых морей (А) и средних значений 6-ти суточных перемещений двух одиноких самок белых медведей в регионе Карского моря (Б).

Сравнительный анализ сезонных суммарных перемещений, длин и азимутов векторов перемещений различных групп самок с новорожденными медвежатами показал, что после выхода из берлог самки с новорожденными медвежатами проходят близкие суммарные расстояния с некоторыми различиями направлений векторов перемещений. По-видимому, различие направлений обусловлено расположением родовых берлог. Для одиноких особей установлены существенные различия перемещений в некоторых сезонах, обусловленные пространственно-временными изменениями ледовой обстановки в период мониторинга. Основными факторами, влияющими на сезонную мобильность и

направления перемещений самок белых медведей, являются особенности ледово-морских местообитаний, репродуктивный статус и наличие доступных пищевых ресурсов. Различная сезонная активность объясняется главным образом необходимостью оптимизации стратегии накопления и расходования энергии в зимний период (Рис. 4 и 5).

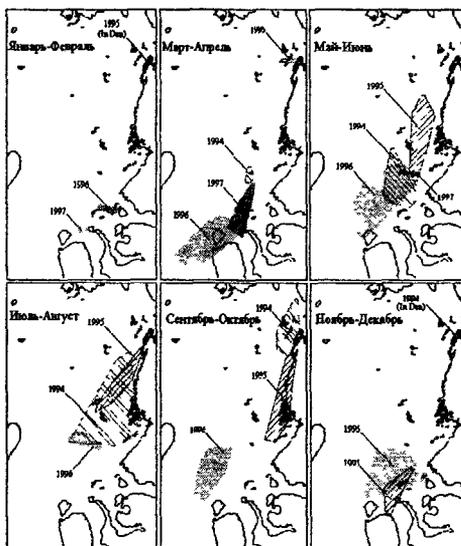


Рисунок 5. Пример сезонных вариаций уровня мобильности самки белого медведя #2036 в Карском море в зависимости от репродуктивного статуса 1994 – первый год, 1995 – второй год, 1996 – третий год, 1997 – первый год).

Заклучение

Космический мониторинг (синхронная биотелеметрия и дистанционное зондирование) позволил впервые получить новые знания об экологии белого медведя. К ним относятся различные аспекты поведения и адаптации белого медведя к экстремальным условиям арктической среды и трансформации местообитаний, активности, мобильности, стратегии перемещений и использования ресурсов, эколого-географической дифференциации, динамики границ ареалов, биологических циклов,

математических моделей оценок индексов селективности типов местообитаний, синтезированных с использованием морфометрических, биотелеметрических и спутниковых дистанционных данных. В результате исследований были созданы: 1) новые методы оценивания параметров местообитаний по многоканальным спутниковым и биотелеметрическим данным с применением статистических классификаторов и данных сети буев; 2) новые методы оценивания направлений сезонных перемещений особей в зависимости от статуса, биологического цикла и сезонной и межгодовой вариабельности параметров местообитаний; 3) статистические модели оценки индексов селективности типов местообитаний, описывающие количественные меры предпочтительности использования ресурсов; 4) база данных многолетнего биотелеметрического мониторинга самок белых медведей, параметров местообитаний, морфометрических измерений, оценок индексов селективности типов местообитаний, оценок статусов самок в зависимости от биологических циклов, мест расположения родовых берлог.

Диссертационная работа выполнялась в рамках различных федеральных и международных программ, в частности: ГНТП «Изучение Мирового океана, Арктики и Антарктики»; Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ); ФЦНТП «Биоразнообразие»; Российско-Американского межправительственного соглашения по охране окружающей среды.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *Мордвинцев И.Н., Петросян В.Г.* Применение спутниковой телеметрии и геоинформационных систем для изучения экологии крупных млекопитающих. Исследование Земли из космоса, РАН, № 2. 1994. С.119 - 124.

2. *Belchansky G.I., Douglas D.C., Mordvintsev I.N., and Ovchinnikov G.K.* Assessing trends in Arctic sea ice distribution using Kosmos-Okean satellite series. *Polar Record*. 1995. Vol. 31(177). P.129-134. Scott Polar Research Institute and the Cambridge University Press, G.B.
3. *Belchansky G.I., Douglas D., Mordvintsev I.* Assessing Variability and Trends in Arctic Sea Ice distribution Using Satellite Data. *Proc. Int. Geoscience and Remote Sensing Sympos., IGARSS'96, Lincoln, NB, USA, 1996, IEEE*. P. 642-644.
4. *Бельчанский Г.И., Петросян В.Г., Мордвинцев И.Н.* Исследование и разработка методов классификации многоспектральных космических измерений для картографирования среды обитания и оценки биоразнообразия крупных млекопитающих Арктики. Полный научный отчет по ГИТИ "Биологическое разнообразие". ИПЭЭ РАН. М., 1996. 15 с.
5. *Belchansky G.I., Douglas D., Mordvintsev I., Petrosyan V.* Satellite Remote Sensing of Arctic Marine Mammals Sea-Ice Habitats. *Proc. Int. Geoscience and Remote Sensing Sympos. IGARSS'97, Singapore, 1997, IEEE CD-ROM*, 8 p.
6. *Бельчанский Г.И., Дуглас Д.С., Мордвинцев И.Н.* Идентификация типов морского льда по радарным данным спутников «Океан-01» и эталонным таблицам. *Исследования Земли из космоса, РАН*. 1998. №6. С.52-65.
7. *Бельчанский Г.И., Петросян В.Г., Мордвинцев И.Н. и др.* Теоретические и экспериментальные исследования по развитию фрактального анализа для изучения экологии вида в быстроизменяющейся среде обитания (на примере белого медведя Арктики России). Заключительный научный отчет по гранту РФФИ № 96-04-49409. ИПЭЭ РАН. М., 1998. 30 с.

8. *Belchansky G.I., Douglas D.C., Mordvintsev I.N., Petrosyan V.G.* Satellite remote sensing of polar bear sea-ice habitats. Project Report, Institute of Arctic Biology, University of Alaska, Fairbanks. 1999. 4 с.
9. *Belchansky G.I., Mordvintsev I.N., Petrosyan V.G., Ereemeev V.A., Alpatzky I.V., Douglas D.C.* Developing satellite tracking and remote sensing databases for polar bear movement pattern studies, assessing sea-ice habitat parameters and habitat category selection when habitat availability changes through time (study area: the Barents, Kara and Laptev seas and adjacent Arctic areas). Final Project Report under Activity 02.05-7105. IPEE RAS and Alaska Biological Science Center, Moscow-Anchorage. 2000. 209 p.
10. *Бельчанский Г.И., Еремеев В.А., Мордвицев И.Н., Платонов Н.Г.* Сравнительный анализ сезонных оценок концентраций морского льда, полученных с использованием спутниковых данных ОКЕАН-01, SSM/I, и RADARSAT. Исследование Земли из космоса, РАН. №4. 2001. С. 46-52.
11. *Бельчанский Г.И., Еремеев В.А., Мордвицев И.Н.* Исследование сезонной и межгодовой вариабельности ледового покрова в Баренцевом – Карском морях и прилегающей части Северного Ледовитого океана по данным спутниковых микроволновых измерений. Исследование Земли из космоса, РАН. 2002. №2. С. 52-60.

2003-A
14660

14660