

Л.А. КОЛПАЩИКОВ, И.А. ЛАВРИНЕНКО, В.А. ЗЕЛЕНЦОВ,
В.В. МИХАЙЛОВ, А.Н. ПЕТРОВ
**СИСТЕМА ИНТЕГРИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА
ПОПУЛЯЦИИ ДИКИХ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ ТАЙМЫРА
С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Колпащиков Л.А., Лавриненко И.А., Зеленцов В.А., Михайлов В.В., Петров А.Н. Система интегрированного мониторинга популяции диких северных оленей Таймыра с применением аэрокосмических технологий.

Аннотация. В ретроспективном плане рассмотрены вопросы мониторинга популяции диких северных оленей с использованием наземных наблюдений и малой авиации. Проанализированы возможности использования аэрокосмических средств и спутниковых радиоошейников для слежения за животными, определения численности и половозрастной структуры стад. Представлены современные методы геоботанического картирования пастбищ с использованием многозональной космической съемки и полевых работ на ключевых участках, а также метод зооклиматического мониторинга на базе модели теплового баланса животного. Показан способ организации мониторинга, интегральной обработки и представления разнородных данных на основе интеллектуального интерфейса.

Ключевые слова: экологический мониторинг, северные олени, наземные наблюдения, авиаучеты, многозональная космическая съемка, геоботаническое картирование, зооклиматический мониторинг, интеллектуальный интерфейс

Kolpashchikov L.A., Lavrinenko I.A., Zelentsov V.A., Mikhailov V.V., Petrov A.N. System of integrated monitoring of wild reindeer Taimyr using aerospace technology.

Abstract. In retrospect, the issues of monitoring the population of wild reindeer using ground observation and small aircraft. The possibility of using aero-space systems and satellite radio collars to track the animals, determine the size and demographic structure of herds. Presents modern methods geobotanical mapping pastures using multispectral satellite imagery and field work in key areas, and the method zooclimatic monitoring model based on the heat balance of the animal. Shows how the monitoring arrangements, integrated processing and reporting of heterogeneous data based intelligent interface.

Keywords: environmental monitoring, reindeer, ground observation, aerial surveys, Multispectral satellite imagery, geo-botanical mapping, zooclimatic monitoring, intelligent interface.

1. Введение. Мониторинг (от латинского слова monitor — предупреждение, предостережение) представляет собой комплексную систему наблюдения, оценки и прогноза изменения состояния некоторого объекта или процесса. Секретариат ООН по окружающей среде определил экологический мониторинг как систему повторных наблюдений за элементами окружающей среды в пространстве и во времени с определенными целями и в соответствие с заранее подготовленными программами. Под целями здесь понимается не

простая констатация фактов, но анализ, проведение экспериментов, составление прогнозов с представлением результатов в форме, удобной для пользователя. Наблюдения и прогноз в системе мониторинга связаны моделью соответствующего объекта (процесса). Без репрезентативной информации о состоянии наблюдаемого объекта невозможно построение прогноза, с другой стороны, модель определяет тот минимальный состав данных наблюдений, который необходим для функционирования модели и получения прогноза. Таким образом, система мониторинга может быть представлена цепочкой: объект–наблюдение–первичная обработка данных–модель–анализ и представление данных

Информация от сенсоров после ее первичной обработки определяет исходное состояние объекта и его параметров, часть этой информации служит для запуска модели и получения прогноза. Исходные и прогнозируемые значения состояния объекта вместе с дополнительной информацией от сенсоров в удобной форме передаются пользователю (лицу, принимающему решение). Пользователь может задавать условия проведения модельных экспериментов, выбирать состав представляемых данных, включать программы анализа результатов.

Отметим, что задача мониторинга не эквивалентна задаче изучения объекта. Целостная модель объекта создается в процессе его изучения, и на основе этой модели определяется состав параметров, наблюдаемый системой мониторинга и их полнота для решения поставленных перед системой мониторинга задач. При этом результаты мониторинга могут служить для усовершенствования исходной модели, однако непосредственно в задачи мониторинга это не входит.

В некоторых случаях мониторинг определяют как средство наблюдения за минимальным набором «ключевых» параметров, по которым можно судить о нормальном функционировании экологического объекта (для технической системы — об ее работоспособности). В такой постановке минимизируются затраты на проведение мониторинга, но задачи выявления причин нарушений и прогнозирования развития ситуации здесь не ставятся. Предполагается, что они будут решаться путем проведения специальных программ анализа и изучения объекта (в технических системах – путем выявления причин отказов и ремонта). При отсутствии целостной модели экологической системы определить набор параметров, достаточный для решения задач анализа и

прогнозирования не представляется возможным, а задержки в принятии решений могут привести к катастрофическим последствиям. Приведем пример с батурстанской популяцией карибу Канады и таймырской популяцией диких северных оленей. Мониторинг включал регулярные авиаучеты численности и фиксацию положения стад по данным радиоошейников. Популяция карибу являлась одной из крупнейших в мире. Численность популяции в 1990 г. составляла около 1 млн. голов. Затем наступил спад численности до 500 тыс. в 2003 г. и до 40 тыс. в 2012 г. Ограниченный состав данных мониторинга не позволил дать прогноз динамики численности популяции и выявить причины ее снижения. Успешным следует признать опыт мониторинга и управления таймырской популяцией диких северных оленей. На протяжении более 40 лет сотрудники научно-исследовательского института сельского хозяйства Крайнего Севера (НИИСХ Крайнего Севера) осуществляли систематический контроль состояния таймырской популяции диких северных оленей с использованием наземных и аэрометодов. В результате была разработана методология сбора, предварительной обработки и анализа данных по ключевым параметрам популяции — численности, половозрастному составу, промысловому отходу. Выполнялись работы по геоботаническому картированию территории и определению кормовой емкости пастбищ. Периодически оценивалась численность хищников, а их воздействие на оленей ограничивалось путем отстрела. Моделирование использовалось для анализа данных, выявления методических ошибок, оценки полноты данных для решения задач прогнозирования численности и половозрастной структуры, анализа изменений продукционных показателей популяции, определения промысловой квоты. Это позволяло держать популяцию под контролем, своевременно принимать необходимые меры по ее охране и устойчивому использованию ресурсов. Однако в современных социально-экономических условиях при сокращении финансирования на проведение мониторинга, закрытии местных аэропортов и удорожании авиатранспорта, экспансии горнорудных и энергетических компаний требуется существенная модификация применявшейся ранее системы мониторинга с использованием новых аэрокосмических средств наблюдения и сбора данных, современных информационных технологий их обработки, анализа и представления. В связи с потеплением Арктики особое значение приобретают задачи биоклиматического мониторинга, учитывающие как прямое

воздействие погодно-климатических факторов на животных, так и воздействие на растительный покров тундры.

В настоящее время наземная и аэрокосмические составляющие систем мониторинга функционируют, как правило, разрозненно. Объединение и совместный анализ разнородных данных, поступающих от наземных, аэро- и космических датчиков (сенсоров), а также экспертных знаний о наблюдаемых процессах и объектах должны выполняться программно-алгоритмическими средствами системы мониторинга. Предлагаемое в статье новое инженерно-техническое решение состоит в создании интеллектуального интерфейса, на базе которого в автоматическом режиме осуществляется интеграция разнородных данных, экспертных знаний, и который включает в свой состав необходимые модели и алгоритмы мониторинга, прогнозирования и поддержки принятия решений.

В данной статье рассмотрены основные задачи и методы мониторинга популяции диких северных оленей и компонент природной среды, влияющих на популяцию, а также описаны основы методологического подхода к построению интегрированных систем мониторинга.

2. Мониторинг численности и половозрастной структуры популяции. Основным методом оценки численности и половозрастной структуры популяций диких северных оленей в России являются авиаобследования. Авиаучеты численности оленей выполняются во время концентрации животных в многотысячные стада на территории летних пастбищ при наступлении жаркой безветренной погоды и массовом вылете кровососущих двукрылых насекомых. Методика авиаучета (на Таймыре с 1966 по 2009 гг. авиаучетные работы проведены 20 раз) постоянно совершенствовалась [1–3]. Она использовалась при выявлении численности диких северных оленей в тундровой зоне Якутии в 1975, 1978, 1982, 1985 гг., в 1986 г. на Чукотке.

Методика авиаучетов включает два этапа. На первом проводятся рекогносцировочные полеты для выявления общей картины пространственного размещения оленей, направления миграций и вероятных районов расположения крупных стад. На такие авиаполеты, как правило, затрачивается 10–15 дней. На втором этапе выполняется регистрация основных группировок путем глазомерной оценки и фотографирования.

Для уменьшения субъективной ошибки наблюдателей и выработки зрительного стереотипа при глазомерной оценке

численности скоплений животных на местности нами использовался компьютерный тренажер [4]. Тренажер выполняет автоматическую генерацию фотокадров и поддерживает режимы формирования зрительных стереотипов, контроля и аттестации. При генерации фотокадров использовались реальные фотоснимки стад таймырской популяции диких северных оленей, полученные при проведении авиаучетов популяции.

Камеральная обработка данных состоит в монтировании фотографий скоплений оленей, подсчете количества животных в них и экстраполяции территории рассредоточения мелких групп и отдельных животных.

Сосредоточение животных в крупные стада наблюдается кратковременно (несколько дней), поэтому очень важно провести учет на всей территории в сжатые сроки. Нарушение сроков влечет за собой резкое увеличение финансовых затрат. Концентрация стад и их дислокация ежедневно меняются, причем они в этот период рассредоточены на огромной территории и расположены на сотни километров друг от друга. Поиск таких временных скоплений — весьма сложная задача, решение которой требует одновременно совместной работы не менее 4 самолетов типа АН-2 и участия опытных специалистов. Проведение подобного рода учетов в настоящее время крайне затрудняется в связи с резким удорожанием авиатранспорта в России, ликвидации части местных аэропортов, исчерпанием ресурсов использования самолетов АН-2.

С ростом численности таймырской популяции диких северных оленей стали существенно меняться традиционные пути и сроки миграций, что значительно усложнило осуществление мониторинга на громадном ареале популяции, составляющем более 1,5 млн. кв. км. В последние годы возросла изолированность западных и центрально-восточных группировок, расстояние между которыми достигает 300-400 км. Новые маршруты и сроки перемещений основных группировок животных во многом неизвестны и недоступны для исследования обычными методами с применением малой авиации. В этих условиях необходим поиск новых методических, технических и информационных подходов и средств. Рассмотрим некоторые из них.

3. Использование специальных аэрофотосъемочных самолетов. Одним из новых и перспективных является метод обнаружения и учета животных с аэрофотосъемочного самолета, оборудованного специальной аппаратурой (тепловизоры и цифровая фотоаппаратура). Наиболее подготовлен для выполнения учетных

работ самолет АН-26БРЛ «Арктика». Характерная его особенность — оснащение аэросъемочными люками для установки аппаратуры и блистерами, через которые можно проводить визуальные наблюдения и перспективную съемку. Время нахождения в воздухе — порядка 9 часов непрерывно. Дальность полета 3200 км, высота от 100 до 6000 м на скорости от 250–400 км/ч. Экипаж 8 человек. Для оборудования используются два люка. Аналогичен по характеристикам аэрофотосъемочный самолет АН-30Д. Преимуществом применения специальной авиатехники является широкое поле обзора съемочного оборудования, возможность проведения сплошной съемки территории вероятного нахождения стад с точной географической привязкой и выборочной съемки фрагментов стад камерами с телеобъективами для определения половозрастной структуры.

4. Фиксация животных по инфракрасному излучению. Данный метод был успешно применен для учета численности лосей в Ленинградской области РФ и численности нерпы Белого моря, северных оленей в зимней лесотундре на Кольском полуострове. Работы выполнялись с использованием одноканального тепловизора «Малахит». Этот прибор работает в диапазоне 8–13 мкм, обладает температурным разрешением не хуже 0.2°C (на фоне 20°C, при высоте 500 м и соотношении сигнал-шум 1:1), полем обзора 120°. Прибор может применяться на самолетах типа АН-26, АН-2 и вертолете МИ-8. Однако при подсчете северных оленей в летний период по инфракрасному излучению возникают сложности, связанные с низкой тепловой контрастностью животных на фоне летней тундры, помех от нагретых камней и открытых участков почвы. В связи с этим необходимы методические и экспериментальные работы, обосновывающие возможность применения тепловизоров для решения данной задачи.

5. Инвентаризация крупных стад и животных в районах разреженного выпаса на обширной территории с использованием спутникового зондирования (ДЗЗ). Эффективность использования космоснимков для обнаружения группировок диких животных уже подтверждена в ходе мониторинга популяции гренландских тюленей в Белом море. Соответствующие работы проведены специалистами инженерно-технологического центра «СКАНЭКС» в 2009 и 2010 гг. На основе данных спутникового мониторинга разрабатывались рекомендации капитанам судов для следования в обход скоплений животных. Материалы проекта доступны на геосервисе

«Космоснимки — Белое море» (<http://whitecoats.kosmosnimki.ru/>). Возможности использования спутниковых технологий для учета и мониторинга диких и домашних северных оленей обсуждались в 2010 г. в инженерно-технологическом центре «СКАНЭКС» (г. Москва) с участием ведущих специалистов в области учёта диких северных оленей, представителей коренных народов Севера и научных организаций и компаний, специализирующихся на развитии спутниковых технологий – СПИИРАН, «ЭС-ПАС», «СКАНЭКС». В апреле 2011 г. ИТС «СКАНЭКС» проведена спутниковая съёмка по проекту «Олени» стад домашних оленей на территории оленеводческой общины «Сузун» (левобережье Енисея). Получены первые положительные результаты, которые доступны по ссылке <http://goroda.kosmosnimki.ru/?permalink=WFBSB&PHG6C>.

Однако методика инвентаризации стад диких северных оленей в летний период с использованием средств дистанционного зондирования требует доработки и апробации. Сложность решения данной задачи связана с большой территорией вероятного размещения животных, необходимостью применения космоснимков высокого разрешения для выявления животных на фоне летней тундры, облачности, закрывающей земную поверхность Таймыра (для летнего периода в местах летних пастбищ по многолетним данным облачность составляет около 8 баллов).

В 2014 г. в период авиаучета диких северных оленей таймырской популяции планируется проведение космосъёмки наиболее крупных группировок животных в период их концентрации на севере Таймыра. Работы будут основаны на сравнительном анализе оперативных космических изображений высокого пространственного разрешения, результатах авиаоблётов и слежения за животными с помощью спутниковой системы Argos, материалах архивов и другой дополнительной информации.

6. Использование спутниковых радиоошейников и меток (чипов) для изучения миграций и выявления мест вероятного нахождения скоплений животных. Как отмечалось выше, при проведении авиаучетов и космосъёмки диких северных оленей наиболее сложным и затратным является этап поиска мест вероятного нахождения скоплений животных. Новым техническим средством, позволяющим кардинально улучшить качество решения данной задачи, являются спутниковые радиоошейники, как средство фиксации местоположения животных. Спутниковые радиоошейники и GPS широко используются учеными Канады и Аляски при слежении за

стадами карибу [5, 6]. Имеются успешные опыты применения отечественных радиоошейников для слежения за тиграми, белыми медведями и морскими млекопитающими. В республике Саха (Якутия) проведена апробация спутникового мечения диких оленей лено-оленинской популяции (слайд-мечение оленей на воде). Получены первые результаты о размещении оленей в бассейне реки Лена [7]. В 2013 г. планируется пометить около 20 оленей на Западном, Центральном и Восточном Таймыре спутниковыми ошейниками отечественного производства, ориентированными на систему ГЛОНАСС. Применение спутниковых радиоошейников позволит не только получить объективные данные о путях миграции северных оленей, но и выявить наиболее вероятное расположение стад в период авиаучета их численности в летний период. Это, в свою очередь, обеспечит снижение затрат полетного времени на проведение учетов и даст возможность автоматизировать настройку спутниковых систем зондирования земной поверхности.

В перспективе целесообразно разработать и апробировать комплексное использование меток (чипов), ридеров (считывателей) и радиоошейников для обнаружения стад северных оленей (диких и домашних). В этом случае количество радиоошейников может быть значительно сокращено и уменьшены финансовые затраты на эти работы. Решение данной задачи требует специальных экспериментальных и теоретических исследований.

7. Картирование оленьих пастбищ и оценка их емкости с использованием методов космического зондирования. Работы по оценке состояния пастбищных территорий и определения их кормовой емкости проводились в Советском Союзе в 1980-х годах с использованием малой авиации (АН-2) большими коллективами геоботаников. Эти данные к настоящему времени устарели, а за последние 30 лет на Таймыре оценка качества пастбищ вообще не производилась. Поэтому многие вопросы относительно оленеемкости зональных пастбищ региона на сегодняшний день остаются неясными. Передача земель в хозяйства различной формы собственности в большинстве случаев осуществляется без фактической оценки качества оленьих пастбищ. В связи с этим важной и актуальной является задача изучения видового разнообразия и продуктивности лишайниковых и зеленых кормов диких оленей и их изменения в результате интенсивного выпаса животных, воздействия антропогенных и климатических факторов.

В настоящее время разработана и апробирована технология геоботанического картирования растительного покрова оленьих пастбищ с использованием многозональной космической съемки, которая позволяет оперативно оценить состояние растительного покрова оленьих пастбищ — деградацию, выбивание, отравливание, любые техногенные нарушения, площадные загрязнения и т. п. [8–10]. Предлагаемая технология в десятки раз снижает затраты на эти работы по сравнению с традиционными методами и, прежде всего, для наиболее удаленных хозяйств. С 2012 г. начато проведение таких работ в Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе на территории левобережья Енисея. В течение 2012 г. выполнено предварительное геоботаническое картирование оленьих пастбищ ключевого участка (50 на 50 км), расположенного на территории общины «Сузун» на основе многозональной космической съемки и полевых работ, проведена дифференциация территории по типу пастбищ (лишайниковые, зеленые) с учетом их хозяйственной значимости и темпов восстановления после выпаса и техногенных нарушений, а также проведено рекогносцировочное картирование распределения надземной зеленой биомассы по территории ключевого участка.

Изменения в растительных сообществах под влиянием климата активно исследуются в Северной Америке [11–12]. В свете тенденций динамики растительности, зарегистрированных для тундровой зоны Северной Америки, особый интерес представляет изучение степени проявления подобных тенденций для арктических территорий Российской Федерации. Вопросы динамики растительного покрова острова под влиянием климатических изменений являются ключевыми при зонировании территории по устойчивости к антропогенным и природным воздействиям, а также при регламентации численности и режима выпаса оленьих стад. В связи с этим был проведен сравнительный анализ сезонной и межгодовой динамики вегетационного индекса (NDVI) в периоды вегетации с 1984 по 2010 гг. для островов Вайгач и Колгуев на ключевых участках, охватывающих большинство типов сообществ этих территорий. Это позволило выявить следующие тенденции:

1. Произошел сдвиг накопления максимальной продуктивности (максимум вегетации) с июля–начала августа в 1984–1986 гг. на вторую декаду августа в 2006–2010 гг. (рис. 1, 2).

2. Продолжительность активной вегетации в 2006–2010 гг. увеличилась примерно на 2 недели, по сравнению с 1984–1986 гг.

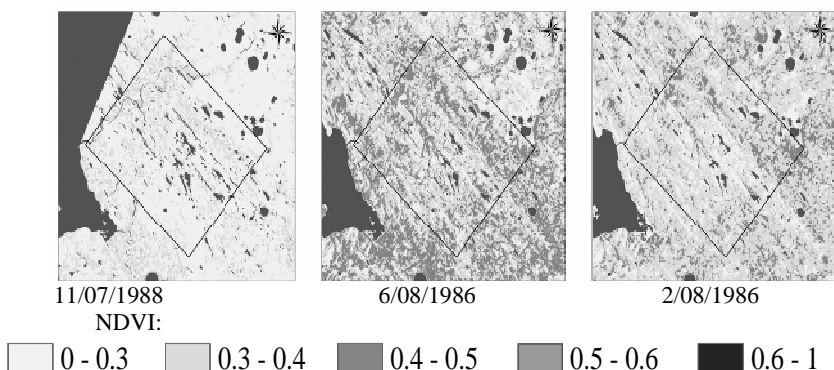


Рис. 1. Динамика сезонных показателей вегетационного индекса в 1986–1988 гг., масштаб 1 : 75 000.

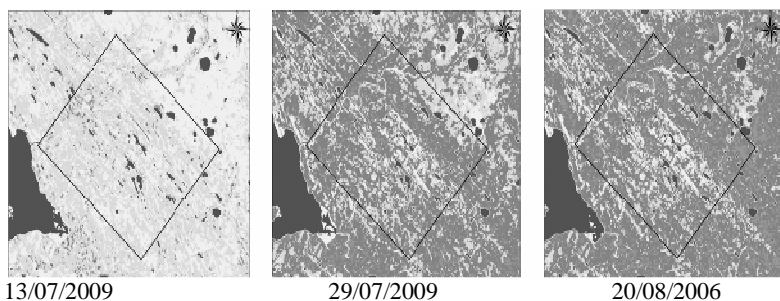


Рис. 2. Динамика сезонных показателей вегетационного индекса в 2006–2009 гг., масштаб 1 : 75 000.

3. Спутниковые снимки, сделанные в пик вегетации за период с 1984 г. по 2010 г., показывают, что за последние 27 лет произошло увеличение значений NDVI на подавляющем большинстве контуров в пределах ключевого участка (рис. 3). Если в 1984–1988 гг. в максимум вегетации преобладали контуры растительности со значениями NDVI не превышающими 0.3–0.4, то в 2006–2010 гг. доминировали контуры со значениями выше 0.4, которые практически отсутствовали на снимках 1984–1988 гг.

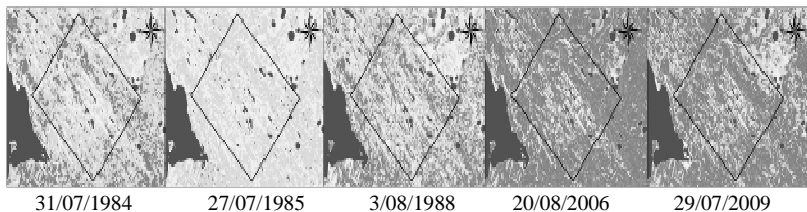


Рис. 3. Динамика максимальных значений вегетационного индекса с 1984 по 2009 гг.

4. В пределах ключевого участка за период с 1986 г. по 2010 г. установлен сдвиг кривой распределения площадей с разными значениями NDVI (от 0 до 0.6 и выше) в сторону увеличения доли площадей с более высокими значениями NDVI. При этом максимальные значения NDVI в течение вегетационного периода возросли от 0.3–0.35 к 0.45–0.50.

5. Мы проследили межгодовую динамику (с 1986 г. по 2010 г.) значений NDVI в разных типах растительных сообществ, различающиеся по ландшафтно-экологической приуроченности и проективному покрытию (ПП), — от сообществ и группировок на наиболее высоких элементах рельефа с разреженным растительным покровом (ПП <10%) до сомкнутых кустарничковых и луговых сообществ (ПП 100%), располагающихся на пониженных и защищенных элементах рельефа. Установлено, что, несмотря на существенные межгодовые колебания вегетационного индекса, тенденция нарастания зеленой массы прослеживается во всех типах растительных сообществах (рис. 4).

Пояснения:

1. Ивово-луговое разнотравно-осоково-моховое сообщество, ПП 100 %;
2. Ивняк низкорослый (30–50 см высоты, с *Salix lanata*) травяно-моховый, ПП 100 %;
3. Тундры редкоивняковые (*Salix arctica*)-осоково (*Carex rariflora*, *C. arctisibirica*)-моховые, иногда с пятнами-медальонами, ПП 80–100 %;
4. Тундры осоково (*Carex rupestris*, *C. misandra*)-дриадовые, осоково (*Carex arctisibirica*)-кустарничково-мохово-лишайниковые, дриадово-цетрариевые в верхней части каменистых выпуклых и покатых гряд, ПП 30–60 %;
5. Тундры и группировки песчанково-подорожниковые и смолеквово-ивковые (*Salix arctica*, *S. reptans*, *S. nummularia*) на прибрежных участках, ПП <15 %.

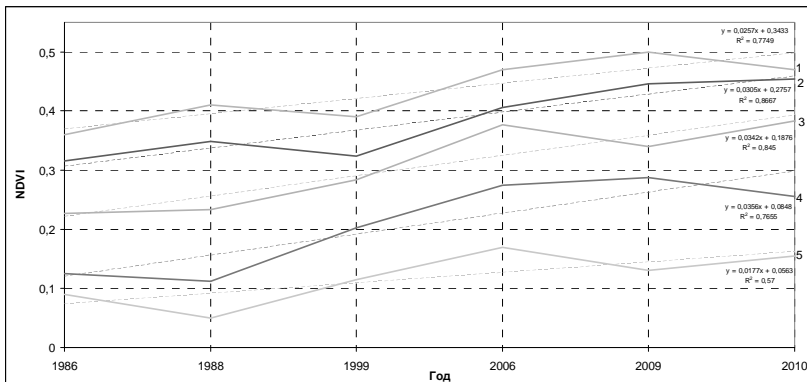


Рис. 4. Межгодовая динамика максимальных значений NDVI для разных типов растительных сообществ на острове Вайгач (пунктиром приведены линейные тренды, их уравнения и достоверность R^2).

Это свидетельствует о возрастании зеленой биомассы в пределах ключевого участка за исследованный период, что происходит как за счет увеличения продуктивности трав, кустарничков и кустарников в пределах геоботанических контуров, так и вследствие расширения площадей таких контуров, причем тенденция нарастания зеленой массы прослеживается во всех типах растительных сообществ.

Таким образом, процессы динамики растительного покрова под влиянием климатических изменений, выявленные для тундровой зоны североамериканского континента, в значительной степени характерны и для российской Арктики. Выявленные тенденции означают, что за последние 25–30 лет произошло «позеленение» территории за счет возрастания активности и продуктивности жизненных форм растений с зелёными надземными частями — трав, кустарничков и кустарников. В связи с этим необходимо провести широкомасштабную оценку динамики растительного покрова оленьих пастбищ Российской Федерации за последние десятилетия с применением как полевых работ, так и данных спутниковой съемки с учетом тенденции климатических изменений.

8. Зооклиматический мониторинг ареала таймырской популяции диких северных оленей. Погодно-климатические воздействия на северных оленей носят прямой и косвенный характер. Прямое — это воздействие на теплообмен организма животного со средой и на напряженность работы системы терморегуляции оленя.

Косвенные воздействия связаны с изменением продуктивности пастбищ, вылетом кровососущих насекомых, развитием эпизоотий.

Зооклиматическое картирование ареала касается только прямых связей и состоит в определении благоприятных для существования животных термонейтральных зон.

Термонейтральная зона — это часть ареала, в пределах которой поддержание теплового баланса животных происходит за счет работы физиологической системы терморегуляции (пилоэрекция шерстяного покрова, изменение тканевой теплоизоляции, изменение теплопотерь с дыханием, потоотделение). Дополнительные затраты энергии или ограничения ее поступления с пищей, направленные исключительно на поддержание теплового баланса организма отсутствуют [13–14]. За границей термонейтральной зоны нарушается нормальный энергобаланс, который в зимний период обеспечивает стабильность (или слабое снижение) массы тела оленя, а в летний — ее интенсивный прирост. Энергетический дисбаланс приводит к снижению защитных и репродукционных показателей животных, вследствие чего за границами термонейтральной зоны олени длительное время существовать не могут.

Для оценки неоднородности термонейтральной зоны использована величина обобщенного теплового сопротивления тела оленя, характеризующая напряженность работы системы терморегуляции организма, включая систему дыхания. Обобщенное тепловое сопротивление — это отношение разности ректальной температуры и температуры воздуха к суммарным теплопотерям организма. В качестве показателя напряженности принята нормированная величина сопротивления, равная нулю на верхней границе термонейтральной зоны, и единице — на нижней.

Для расчета напряженности используется модель теплового баланса, описание которой имеется в работах [15, 16]. Входными данными для проведения расчетов являются данные о температуре воздуха, скорости ветра, облачности, высоте и плотности снежного покрова, а также данные о прямой и рассеянной солнечной радиации и высоте солнца. Данные могут быть получены от метеостанций, метеоспутников, из справочников. Период осреднения данных зависит от решаемой задачи. Построение полей напряженности и фиксация границ термонейтральной зоны выполняется средствами ГИС [17].

В качестве примера на рис. 5 (слева) показана верхняя граница термонейтральной зоны (граница перегрева) для телят диких северных оленей, рассчитанная по среднемесячным данным июля 1979 г., а на

рис. 5 (справа) — сдвиг границы зона к югу при снижении среднемесячной температуры июля на 2°С.

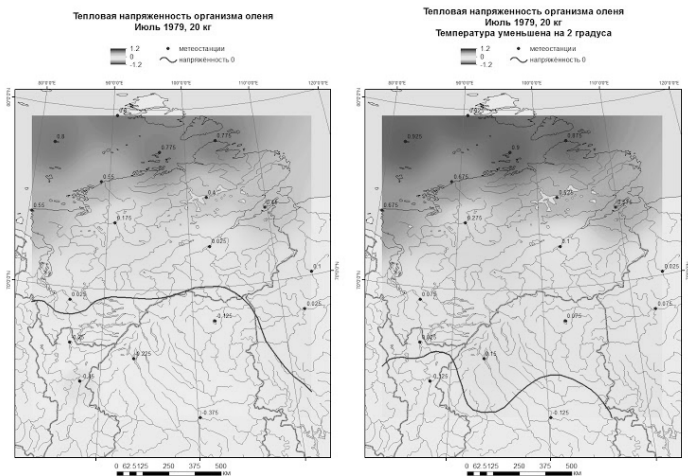


Рис. 5. Положение верхней границы термонейтральной зоны для телят весом 20 кг. По среднемесячным данным июля 1979 г. (слева), и при снижении среднемесячной температуры на 2°С (справа).

10. Программно-аналитический комплекс интегрированного мониторинга. При разработке методологии мониторинга природно-технологических объектов и создании соответствующих прикладных методик, технологий и систем требования унификации, автоматизации и возможности интегрированной обработки разнородных данных, а также возможности наглядного представления результатов заинтересованным лицам и организациям, в том числе на национальном и международном уровнях, рассматриваются как ключевые. Из этого следует, что создаваемые информационные ресурсы систем мониторинга должны обладать следующими возможностями:

- обеспечивать мониторинг большого количества разнородных природных и техногенных объектов и процессов;
- обеспечивать интегрированную обработку всех доступных данных - как наземных так и космических;
- иметь в своем составе комплекс моделей для определения минимального набора наблюдаемых параметров и составления прогнозов;

– иметь в своем составе развитые аналитические системы и алгоритмическое обеспечение для решения задач мониторинга и поддержки принятия решений по снижению рисков возникновения и последствий экологических катастроф.

– обеспечивать оперативное и наглядное представление информации о результатах мониторинга на региональном, национальном и международном уровнях.

Применительно к архитектуре перспективных автоматизированных систем мониторинга и управления сложными эколого-технологическими объектами решение перечисленных задач означает необходимость создания интеллектуального интерфейса, выполняющего описанные выше функции обработки разнородной информации и интеграции данных, полученных в результате работы описанных выше моделей. Функциональная схема такой системы отображена на рис. 6 [18].

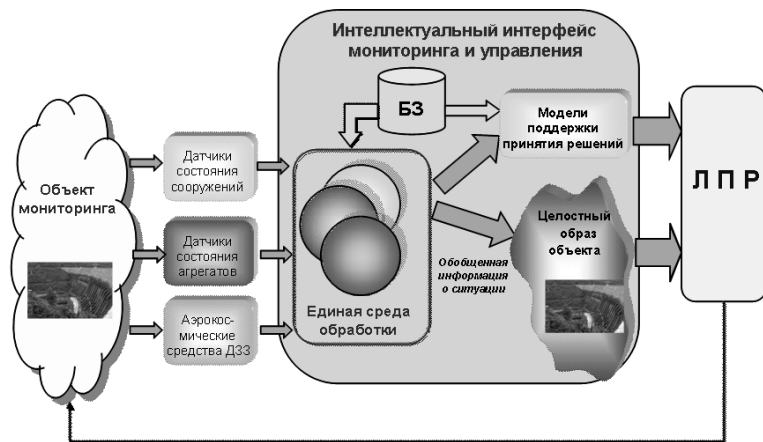


Рис. 6. Система мониторинга сложных эколого-технологических объектов.

Основными компонентами интеллектуального интерфейса такой системы являются: комплекс программных средств единой среды обработки разнородных данных, описывающих различные составляющие состояния и поведения объекта мониторинга; база знаний (БЗ) о взаимосвязях параметров, их совместном влиянии на изменение состояния объекта и о влиянии принимаемых решений на развитие кризисных ситуаций; модели поддержки принятия решений по снижению рисков возникновения и развития кризисных ситуаций.;

11. Заключение. Таким образом, мониторинг популяции диких северных оленей является сложной многоаспектной научной задачей, требующей междисциплинарного подхода и комплексного применения разнородных методов сбора данных и моделей биосистем различного уровня формализации. Интеграцию разработанных моделей целесообразно осуществлять на базе предложенного в статье интеллектуального интерфейса, обеспечивающего формирование целостного образа наблюдаемых природных явлений.

Литература

1. Павлов Б.М., Куксов В.А., Савельев В.Д. Рациональное использование ресурсов диких северных оленей таймырской популяции. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1976. 40 с.
2. Колпациков Л.А., Павлов Б.М., Михайлов В.В. Методические рекомендации по авиаучету численности и определению норм опромышления таймырской популяции диких северных оленей. Норильск, 1999. 24 с.
3. Колпациков Л.А., Михайлов В.В., Шапкин А.М. *Нормы добычи диких северных оленей таймырской популяции.* Норильск: 2011. 26 с.
4. Михайлов В.В., Карташев Н.К., Колпациков Л.А. DEER COUNTER – программа-тренажер для выработки навыков визуальной оценки количества животных в группировках. //Биологические ресурсы Крайнего Севера: изучение и использование. СПб.: Изд. ГУАП, 2010. С.105–111.
5. Gunn A. , Russell D. Monitoring Rangifer Herds (Population Dynamics). Manual. CircumArctic Rangifer Monitoring and Assessment (CARMA) Network, 2008.
6. Harper P. (editor). Caribou Management Report of Surveys and Inventories Activities July 2006-30 June 2008. Alaska Department of Fish and Game, Juneau, AK.
7. Охлопков И.М., Николаев Е.А., Кириллин Е.В., Кириллин П.А. Использование спутниковых радиоошейников в наблюдении за популяциями диких северных оленей Якутии в 2010 году. <http://bultalt.ru/node/315>
8. Лавриненко И.А. Динамика растительного покрова острова Вайгач под влиянием климатических изменений //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов). Институт космических исследований РАН, 2011. Т.8. №1. С.183–189.
9. Лавриненко И.А. Использование дистанционных методов при геоботаническом районировании восточно-европейских тундр // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов). Институт космических исследований РАН, 2012. Т.8, №3. С. 269–276.
10. Лавриненко И.А., Лавриненко О.В., Романенко Т.М. Опыт дистанционного мониторинга при геоботаническом районировании в Ненецком автономном округе // Материалы научно-практической конференции «Северное оленеводство: современное состояние, перспективы развития, новая концепция ветеринарного обслуживания», 21–23 сентября 2011 г., СПб, г. Пушкин, 2012. С. 58—72.
11. Sturm M., Racine C., Tape K. Increasing shrub abundance in the Arctic // Nature. 2001. № 411. P. 546–547.

12. *Bhatt U.S., Walker D.A., Reynolds M.K., Comiso J.C., Epstein H.E., Jia G., Gens R., Pinzon J.E., Tucker C.J., Tweedie C.E., Webber P.J.* Circumpolar Arctic Tundra Vegetation Change Is Linked to Sea Ice Decline // *Earth Interactions*. 2010. Vol. 14. Paper № 8. P. 1–20.
13. *Иванов К.П.* Биознергетика и температурный гомеостазис. Наука ЛО 1972. 168 с.
14. *Соколов А.Я., Кушниц А.Р.* Терморегуляция и биознергетика северного оленя. Новосибирск: Изд. СО РАН, 1997. 178 с.
15. *Mikhailov V.* Simulation of Animal's Heat Balance. Trans. of IV Int. Conf. Problems of Cybernetics and Informatics (PCI'2012), Baku, 2012. P. 47–63.
16. *Михайлов В.В.* Модель регулирования теплового баланса северного оленя, учитывающая сезонные изменения радиационных и метео факторов. (Труды СПИИРАН, вып.6, в печати).
17. *Михайлов В.В., Пестерева А.В.* Зооклиматическое картирование на основе модели теплового баланса животных и ГИС-технологий (на примере северных оленей Средней Сибири). (Труды СПИИРАН, вып.6, в печати).
18. *Зеленцов В.А., Охтлев М.Ю., Соколов Б.В., Хименко В.И.* Интеграция информационно-телекоммуникационных ресурсов глобальных систем мониторинга на базе единой интеллектуальной платформы // Информационно- управляющие системы, 2012, № 1, с.12–15.

Колпащиков Леонид Александрович — д.б.н., зав. отделом Научно-исследовательского института Сельского хозяйства Крайнего Севера РАНХН. Специалист в области промышленной биологии, изучения и мониторинга экосистем Крайнего Севера. Область научных интересов: исследование пространственно-временной динамики популяций диких копытных животных Севера, управление численностью и структурой популяций диких северных оленей. Автор 205 научных трудов. ntnt69@yandex.ru НИИСХ, ул. Комсомольская, д. 1, Норильск, 663301, РФ, р.т.+7(3919)467990, факс+7(3910)467990.

Kolpashchikov Leonid Aleksandrovich — Doctor of Sciences (Biol), Head. Department of Research Institute of Agriculture of the Far North of the RAAS. A specialist in the field of fisheries biology, studying and monitoring of ecosystems of the Far North. Research interests: study spatio-temporal dynamics of wild ungulates North, control the size and structure of populations of wild reindeer. Author of 205 scientific publications. ntnt69@yandex.ru Research Institute, Komsomolskaya, 1, Norilsk, 663301, R F, office phone +7 (3919) 467990, fax: +7 (3910) 467990.

Зеленцов Вячеслав Алексеевич — д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории «Информационных технологий в системном анализе и моделировании» СПИИРАН. Область научных интересов: системный анализ, теория надежности, модели и методы принятия решений в сложных организационно-технических системах с использованием аэрокосмических данных. Автор 250 научных трудов, в том числе 3 монографий и 3 учебников. v.a.zelentsov@gmail.com, www.litsam.ru; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812) 328–0103, факс +7(812) 328–4450.

Zelentsov Viacheslav Alekseevich — Doctor of Sciences (Tech), Prof., Leading researcher, Laboratory for Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, SPIIRAS. Research interests: analyses of systems, reliability theory, mathematical models and methods

of decision-making support in complex technical-organizational systems with the use of aerospace data. The number of publications 250, including 3 monograph and 3 textbook.
v.a.zelentsov@gmail.com, www.litsam.ru; SPIIRAS, 14-line, 39, St. Petersburg, 199178, Russia; rt +7 (812) 328-0103, fax: +7 (812) 328-4450.

Лавриненко Игорь Анатольевич — к.б.н., с.н.с. лаборатория географии и картографии растительности ФГБУ Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской академии наук (БИН РАН). Область научных интересов: комплексное обследование растительного покрова на фоновых и нарушенных территориях, тематическое картирование с использованием дистанционных методов, обработка и дешифрирование материалов многозональных космических снимков и аэрофотоснимков в полевых и камеральных условиях, подготовка крупномасштабных геоботанических и других тематических карт по территориям тундровой зоны, оценка взаимосвязи между продуктивностью растительного покрова и спектральными показателями снимков, разработка и апробирование методов дистанционного мониторинга в условиях Севера с использованием дистанционных методов. Число публикаций: более 130-ти, из них соавтор 5-ти монографий. lavrinenkoi@mail.ru, ул. профессора Попова, 2, С.-Петербург, 197376, РФ, р. т. :+7(812) 346-45-30, факс: +7(812)346-36-43.

Lavrinenko Igor Anatolievich — PhD, senior researcher lab. of the Geography and Mapping of vegetation Komarov Botanical Institute Russian Academy of Sciences. The main research areas: processing of geobotanic investigations of vegetation on the background and disturbed tundra areas, processing and interpretation of materials multispectral satellite images and aerial photographs in the field and laboratory conditions, preparation of large-scale geo-botanical and other thematic maps for reindeer pasture areas, assessing the relationship between the productivity of pastures and spectral indices of images, development and testing of satellite monitoring in the Russian North with the use of remote technology. Number of publications: more than 130, of which co-author for 5 monographs, Professor Popov, 2, St.-Petersburg, 197376, RUSSIA, lavrinenkoi@mail.ru, office phone +7(812) 346-45-30, fax: +7(812)346-36-43.

Михайлов Владимир Валентинович — д.т.н, профессор, ведущий научный сотрудник СПИИРАН. Область научных интересов: Системный анализ, разработка моделей и методов исследования экологических и популяционных систем, разработка моделей теплового баланса организма животных, методов зооклиматического анализа и мониторинга территорий обитания популяций животных. Автор 175 научных трудов. mwwcari@gmail.com, СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812) 328-0103, факс +7(812) 328-4450.

Mikhailov Vladimir Valentinovich — Doctor of Sciences (Tech), Professor, Leading Researcher Laboratory for Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, SPIIRAS. Research interests: systems analysis, development of models and methods for studying environmental and population systems, modeling of the thermal balance of the body of animals, methods of analysis and zooclimatic monitoring of the habitat of animal populations. Author of 175 scientific publications, including 7 monograph. mwwcari@gmail.com, SPIIRAS, 14-line, 39, St. Petersburg, 199178, Russia; rt +7 (812) 328-0103, fax: +7 (812) 328-4450.

Петров Андрей Николаевич — докт. философии, к.г.н., профессор факультета географии, директор лаборатории исследований социальных и природных систем

Арктики, Университет Северной Айовы, Сидар Фоллс, США. Научные интересы: ГИС и пространственное моделирование социально-экономических и экологических систем; развитие Арктических регионов. Около 50 научных публикаций в зарубежных и российских изданиях. 205 ITTC UNI 50614-0406 USA, p.т. 1-319-273-6245, факс 1-319-273-71035

Petrov Andrey Nikolaevich- PhD Department of Geography Arctic Social and Environmental Systems Research Laboratory University of Northern Iowa Cedar Falls, IA USA. Research interests: GIS and spatial modeling of socio-economic and ecological systems, the development of Arctic regions. About 50 scientific publications in international and Russian editions. 205 ITTC UNI 50614-0406 USA; office phone 1-319-273-6245, fax 1-319-273-71035

Поддержка исследования. Данная работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 11-08-01016, 11-08-00767, 12-07-13119-офи-м-РЖД, 12-07-00302, 13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250), Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект №2.11), проекта ESTLATRUS 2.1/ELRI –184/2011/14 «Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems», проекта ESTLATRUS/1.2./ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform

Рекомендовано СПИИРАН, директор Юсупов Р.М., чл.-корр. РАН.
Статья поступила в редакцию 27.04.2013

РЕФЕРАТ

Колтащиков Л.А., Лавриненко И.А., Зеленцов В.А., Михайлов В.В., Петров А.Н. Система интегрированного мониторинга популяции диких северных оленей Таймыра с применением аэрокосмических технологий.

Рассмотрены вопросы построения интегрированной системы экологического мониторинга на примере мониторинга таймырской популяции диких северных оленей. Во введении дано общее определение задач экологического мониторинга и роли целостной модели объекта в определении необходимого набора наблюдаемых параметров. Далее анализируется система мониторинга оленей таймырской популяции, основанная на использовании наземных средств и малой авиации. В советское время система эффективно работала, но в современных условиях необходима ее модификация с использованием новых технических средств и информационных технологий, менее затратных и более эффективных, чем применявшихся ранее. Таковыми средствами являются: специальные аэрофотосъемочные самолеты, тепловизоры, спутниковые средства зондирования оленьих стад, а также спутниковых радиоошейников для фиксации путей миграций и выявления скоплений животных. В статье обсуждаются возможности этих средств и сложности их применения, связанные с низкой тепловой контрастностью оленей на летних пастбищах, наличием помех, облачностью, достигающей в летний период 8-9 баллов, обширностью территории возможного нахождения скоплений оленей. В 2013 г. предполагается установить около 20 спутниковых радиоошейников, а в 2014 г., во время авиаучета, провести апробацию спутниковых средств съемки стад.

Мониторинг популяции должен включать также слежение за компонентами среды, непосредственно влияющими на динамику численности и пространственное размещение животных. К таковым относятся — пастбища, и прямое воздействие на оленей погодно-климатических факторов. Представлена технология геоботанического картирования растительного покрова оленьих пастбищ с использованием многозональной космической съемки, которая позволяет оперативно оценить их состояние — деградацию, выбивание, отравляивание, техногенные нарушения. Зооклиматический мониторинг обеспечивает слежение за расположением благоприятных для животных термонейтральных зон ареала и их смещением в зависимости от погодно-климатических условий. Методика мониторинга основана на использовании модели теплового баланса животного и данных о метеофакторах (фактических или прогнозируемых).

Представлена структурная схема программно-аналитического комплекса интегрированного мониторинга. Комплекс строится на базе универсального интеллектуального интерфейса, выполняющего функции обработки разнородной информации и интеграции данных, их анализа, составления прогнозов и представления информации в удобной для использования форме.

SUMMARY

Kolpashchikov L.A., Lavrynenko I.A., Zelentsov V.A., Mikhailov V.V., Petrov A.N. **The system of integrated monitoring of wild reindeer of Taimyr using aerospace technology.**

The problems of building an integrated environmental monitoring system for monitoring the example of Taimyr population of wild reindeer. The introduction gives a general definition of the tasks of environmental monitoring and the role of a holistic model of the object to determine the required set of observed parameters. Further analysis of the system of monitoring deer Taimyr population, based on the use of ground-based and small aircraft. In Soviet times, the system worked effectively, but in the present conditions, it must be modified with the use of new techniques and information technology, less expensive and more efficient than previously used. Among these tools are: special aerial photography aircraft, thermal imaging, satellite-based sensing deer herds, as well as satellite radio collars to secure the migration routes and identify clusters of animals. The article discusses the features of these tools and their application related to the low thermal contrast deer in summer pastures, the presence of noise, clouds, reaching a 8–9 year period, the vastness of the territory of the possible presence of clusters deer. In 2013, it is planned to install about 20 satellite radio collars, and in 2014, during the aerial survey, to conduct testing of satellite-based survey herds.

Population monitoring should also include monitoring the components of the environment that directly affect population dynamics and spatial distribution of animals. These include — pastures, and a direct impact on the deer climatic factors. The technology of geo-botanical mapping vegetation deer grazing using multispectral imagery, which allows you to quickly assess their condition — degradation, overgrazing, man-made breach. Zooklimatic monitoring provides tracking of the location of favorable thermoneutral zones for animals and their habitat displacement, depending on the climatic conditions. The monitoring methodology is based on the model of the thermal balance of the animal and the data on meteorological factors (actual or projected).

The block diagram of software and integrated set of analytical monitoring. The complex is built on the basis of a universal intelligent interface that performs the functions of various information processing and data integration, analysis, forecasting and reporting of information in a usable form.