

**Мониторинг популяции диких северных оленей на основе интеграции наземных, аэрокосмических и климатических данных**

© 2014. В. А. Зеленцов<sup>1</sup>, д.т.н., в.н.с., Л. А. Колпациков<sup>2</sup>, д.б.н., зав. отделом, И. А. Лавриненко<sup>3</sup>, к.б.н, с.н.с., В. В. Михайлов<sup>1</sup>, д.т.н., в.н.с., А. Н. Петров<sup>4</sup>, д.б.н., зав. лабораторией,

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крайнего Севера,

<sup>3</sup>Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, <sup>4</sup>Университет Северной Айовы (США),

e-mail: zelentsov@iias.spb.su, stnt@yandex.ru, lavrinenkoi@mail.ru,

mwwcari@gmail.com, andrey.petrov@uni.edu

Рассмотрены вопросы мониторинга популяции диких северных оленей с использованием наземных наблюдений и малой авиации. Проанализированы возможности использования аэрокосмических средств и спутниковых радиошейников для слежения за животными, определения численности и половозрастной структуры стад. Представлены результаты анализа изменений растительного покрова Арктики с использованием многозональной космической съёмки, 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.

Problems of monitoring of reindeer population using field observations and small aircraft are considered. Possibilities of the use of aerospace methods and satellite radio collars to observe the animals and determine the population and sexual structure of the reindeers are analyzed. Results of analysis of the Arctic vegetation changes, using multispectral satellite imagery are presented as well as the method of zooclimatic monitoring based on the model of thermal balance of the animal. It is also showed how to organize monitoring, integrated processing and presentation of heterogeneous data based on the intelligent interface.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, северные олени, наземные наблюдения, авиаучёты, многозональная космическая съёмка, геоботаническое картирование, зооклиматический мониторинг, интеллектуальный интерфейс

**Keywords:** ecological monitoring, reindeers, field observations, aerial surveys, multispectral satellite imagery, geobotanical mapping, zooclimate monitoring, intellectual interface

**Введение**

На протяжении более 40 лет сотрудники Научно-исследовательского института сельского хозяйства (НИИСХ) Крайнего Севера осуществляли систематический контроль состояния таймырской популяции диких северных оленей с использованием наземных учётов и аэрометодов [1]. В результате была разработана методология сбора, предварительной обработки и анализа данных по ключевым параметрам популяции и её пространственно-временной структуре. Выполняли работы по геоботаническому картированию территории и определению кормовой ёмкости пастбищ. Для прогнозирования численности и половозрастной структуры, оценки продукционных показателей популяции использовали моделирование, определения промысловой квоты. Подобный экосистемный мониторинг

позволял держать популяцию под контролем, своевременно принимать необходимые меры по её охране и устойчивому использованию ресурсов. Однако в современных социально-экономических условиях требуется существенная модификация системы мониторинга с использованием как наземных, так и новых аэрокосмических средств наблюдения и сбора данных, современных информационных технологий их обработки. В связи с потеплением в Арктике особое значение приобретает биоклиматический мониторинг популяции. Ниже рассматриваются методологические и структурные вопросы организации интегрированной системы мониторинга стад северных оленей.

**Мониторинг численности и половозрастной структуры популяции.** Основным методом оценки численности и половозрастной структуры популяций диких северных оленей в Рос-

сии являлись авиаобследования. Авиачёты выполняют во время концентрации животных в многотысячные стада на территориях летних пастбищ при наступлении жаркой безветренной погоды и массовом вылете кровососущих двукрылых насекомых. Методика учётов [2] предусматривает проведение рекогносцировочных и регистрационных полётов. Учёты выполняли на 3–4 самолётах типа АН-2 с участием опытных специалистов. Общие затраты времени на проведение учёта составляют 15–20 дней. На Таймыре с 1966 г. было проведено 20 авиаучётов, в Якутии – 4, на Чукотке – 1 авиаучёт.

Проведение подобных работ в настоящее время крайне затруднено в связи с резким удорожанием авиатранспорта в России, ликвидацией части местных аэропортов, исчерпанием ресурсов использования самолётов АН-2. В этих условиях необходим поиск новых методических, технических и информационных подходов и средств. Рассмотрим некоторые из них.

**Использование специальных аэрофотосъёмочных самолётов.** Наиболее подготовлен для выполнения учётных работ самолёт АН-26БРЛ «Арктика». Его особенность – оснащение аэросъёмочными люками для установки аппаратуры и блистерами, через которые можно проводить визуальные наблюдения. Время нахождения в воздухе – около 9 часов, дальность полёта 3200 км, высота от 100 до 6000 м при скорости 250–400 км/ч. Аналогичен по характеристикам аэрофотосъёмочный самолёт АН-30Д. Преимуществом применения специальной авиатехники является широкое поле обзора съёмочного оборудования, возможность проведения сплошной съёмки территории нахождения стад с точной географической привязкой и выборочной съёмки фрагментов стад камерами с телеобъективами для определения половозрастной структуры.

**Фиксация животных по инфракрасному излучению.** Данный метод был успешно применён для учёта численности лосей в Ленинградской области и численности нерпы Белого моря, северных оленей в зимней лесотундре на Кольском полуострове. Работы выполнялись с использованием одноканального тепловизора «Малахит» [3]. Однако при подсчёте северных оленей в летний период 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.

**Использование спутниковых радиоошейников для изучения миграций и выявления мест вероятного нахождения скоплений животных.** Спутниковые радиоошейники широко используются в Канаде и на Аляске для слежения за стадами карibu. В Республике Саха (Якутия) проведена апробация мечения диких оленей лено-оленинской популяции спутниковыми ошейниками отечественного производства [4]. В 2013 г. планируется пометить такими ошейниками около 25 оленей на Таймыре. Применение спутниковых радиоошейников позволит не только получить объективные данные о миграции оленей, но и выявить наиболее вероятное расположение летних скоплений животных. Это, в свою очередь, обеспечит снижение затрат полётного времени на проведение авиаучётов и даст возможность автоматизировать настройку спутниковых систем зондирования земной поверхности.

**Учёт численности оленей с использованием спутникового зондирования (ДЗЗ).** В апреле 2011 г. ИТЦ «СКАНЕКС» проведена успешная спутниковая съёмка стад домашних оленей на территории оленеводческой общины «Сузун» на левобережье Енисея. Однако методика инвентаризации стад диких северных оленей в летний период с использованием средств ДЗЗ требует доработки и апробации. Сложность связана с большой территорией вероятного размещения животных, сильной облачностью, необходимостью применения космоснимков высокого разрешения для выявления животных на фоне летней тундры. Совместное использование данных спутниковых радиоошейников и высокоточных космических снимков является наиболее перспективным направлением в развитии методик ДЗЗ оленьих стад.

**Исследование динамики растительного покрова Арктики с использованием методов космического зондирования.** Вопросы динамики растительного покрова под влиянием климатических изменений необходимо учитывать при зонировании территории, при расчёте оленеёмкости пастбищ разных сезонов выпаса и при регламентации общей численности оленьих стад для территории. В связи с этим для арктических островов Вайгач и Колгуев был проведён сравнительный анализ сезонной и межгодовой динамики вегетационного индекса (NDVI) в периоды вегетации с 1984-го по 2010 г. (рис. 1).

Сравнительный анализ показателей NDVI по ключевому участку о. Вайгач позволил выявить следующие тенденции:

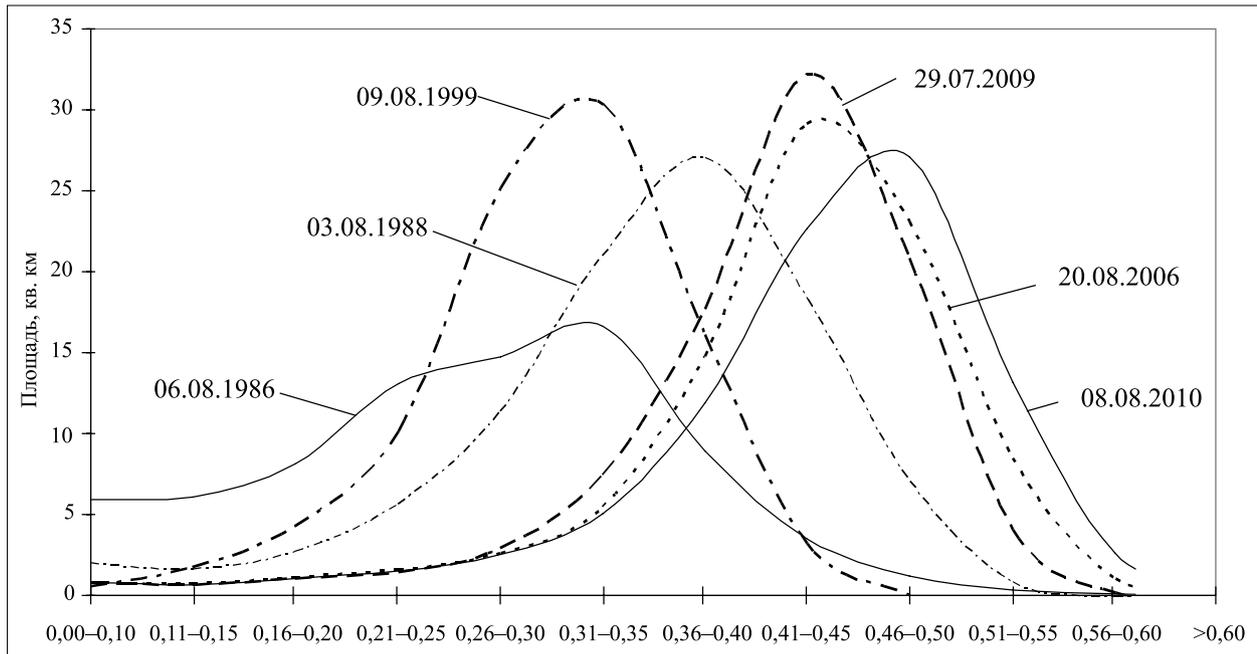
1. Сдвиг сроков накопления максимальной зелёной фитомассы с конца июля – начала августа на вторую декаду августа и увеличение продолжительности активной вегетации примерно на две недели.

2. Увеличение значений NDVI в пик вегетации на подавляющем большинстве гео-

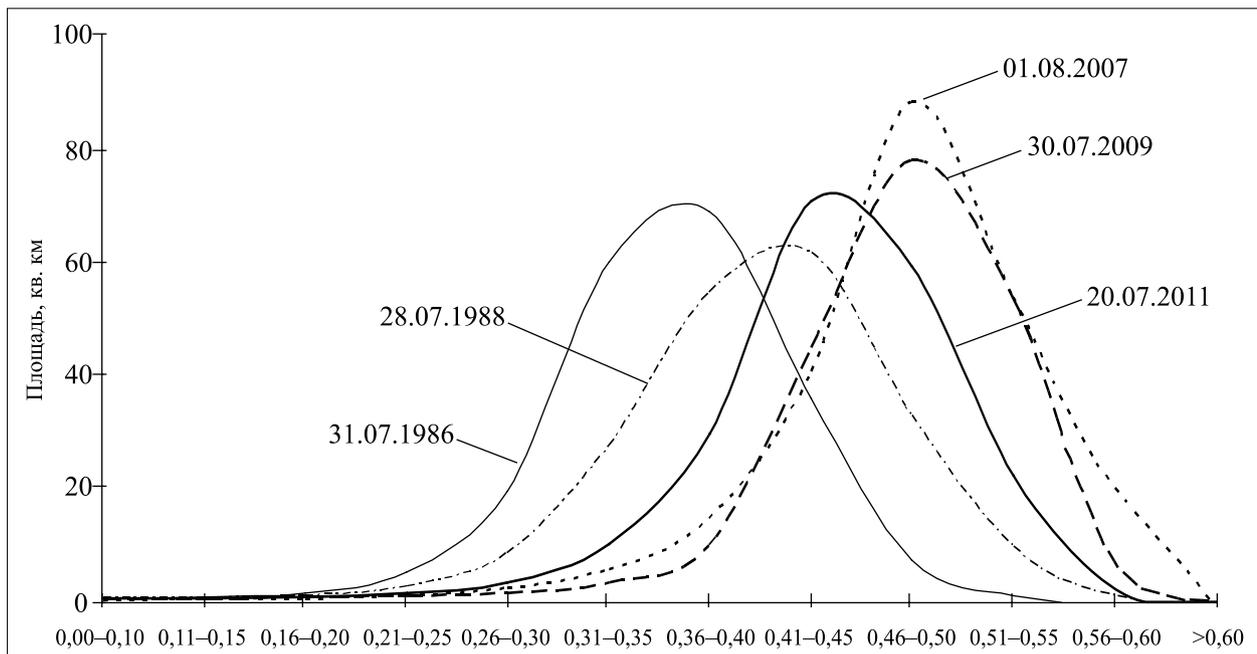
ботанических контуров. В пределах ключевого участка модальные значения NDVI увеличились от 0,30–0,35 до 0,45–0,50.

4. Несмотря на межгодовые колебания вегетационного индекса, тенденция нарастания зелёной фитомассы прослеживается во всех типах растительных сообществ.

Аналогичные изменения произошли и на о. Колгуев. Возрастание зелёной фитомассы тесно коррелирует с ростом средних летних



а



б

Рис. 1. Динамика распределения площадей с разными значениями NDVI в пределах ключевого участка островов: а – Вайгач в период с 1986-го по 2010 г.; б – Колгуев в период с 1986-го по 2011 г. Значения NDVI < 0 в график не включены

температур, увеличением продолжительности вегетационного периода и количеством накопленного за этот период тепла [5]. Выявленные тенденции означают, что за последние 25–30 лет произошло возрастание продуктивности жизненных форм растений с зелёными надземными частями – трав, кустарничков и кустарников.

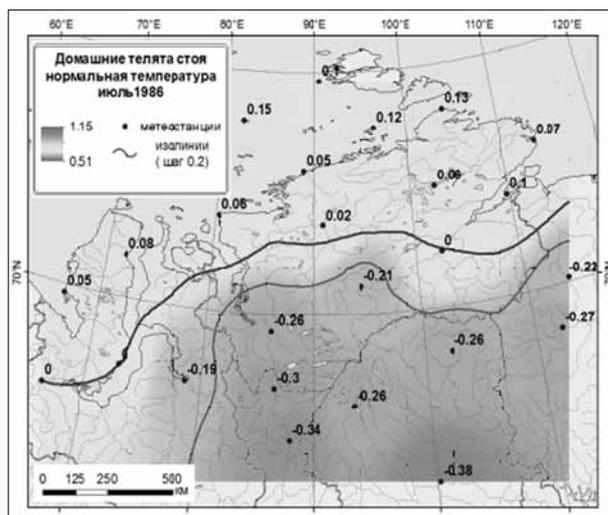
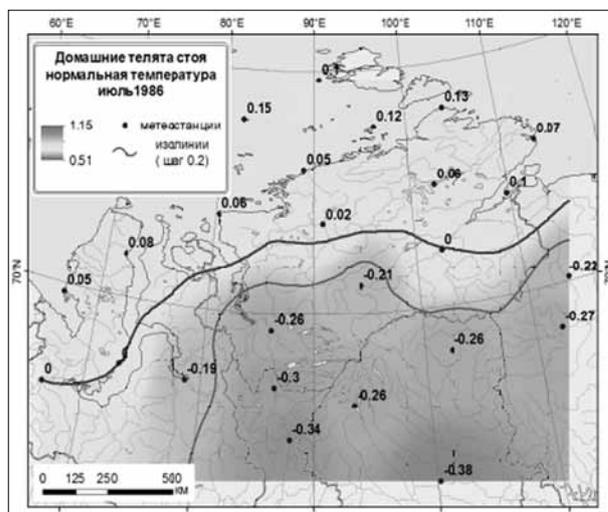
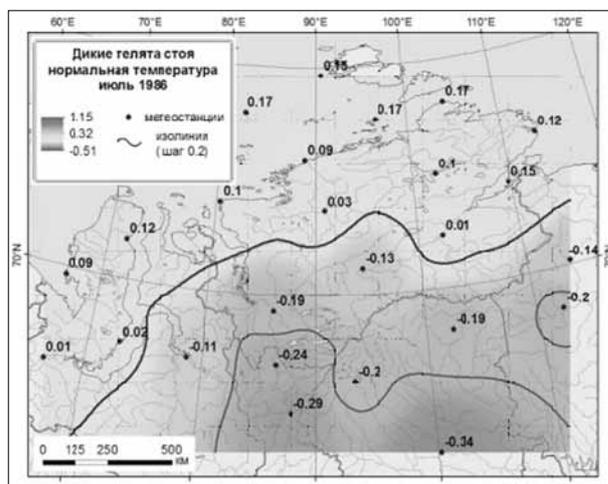
**Зооклиматический мониторинг ареала таймырской популяции диких северных оленей.** Задачей зооклиматического мониторинга является определение границ, благоприятных для существования оленей термонейтральных зон, в пределах которых тепловой баланс животных поддерживается за счёт работы физиологической системы терморегуляции (пилоэрекция шерстяного покрова, изменение тканевой теплоизоляции, изменение теплопотерь с дыханием, потоотделение) [6].

В качестве показателя напряжённости воздействия погодно-климатических условий на оленей нами принята нормированная величина обобщённого теплового сопротивления тела животного, равная 0 на верхней границе термонейтральной зоны, и 1 – на нижней. Для определения обобщённого теплового сопротивления используется модель теплового баланса оленя [7, 8]. Входными для расчётов являются данные о температуре воздуха, скорости ветра, облачности, влажности воздуха, высоте и плотности снежного покрова, а также о прямой и рассеянной солнечной радиации и высоте солнца. Построение полей напряжённости и фиксация границ термонейтральной зоны выполняется средствами ГИС [8].

В качестве примера на рисунке 2 показано положение верхней границы термонейтральной зоны (границы перегрева) для телят диких и домашних северных оленей, а также взрослых самцов, рассчитанная по среднемесячным данным июля 1986 г. На картах видно, что с увеличением веса животных снижаются возможности сброса тепла, что приводит к смещению границы перегрева в северную часть ареала.

**Программно-аналитический комплекс интегрированного мониторинга.** В настоящее время наземная и космические составляющие систем мониторинга функционируют, как правило, разрозненно.

При разработке методологии мониторинга природно-технологических объектов и создании соответствующих прикладных методик, технологий и систем требования унификации, автоматизации и возможности интегрированной обработки разнородных



**Рис. 2.** Поля напряжённости погодно-климатических условий и положение верхней границы термонейтральной зоны: а – для телят диких северных оленей, б – телят домашних оленей, в – взрослых самцов – справа, положение «отдых стоя», июль 1986 г.

данных, а также возможности наглядного представления результатов заинтересованным лицам и организациям 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: наземных, аэро- и космических;
- иметь в своём составе комплекс моделей для определения минимального набора наблюдаемых параметров и составления прогнозов;
- иметь в своём 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.

Новое решение состоит в создании интеллектуального интерфейса [9], на базе которого в автоматическом режиме осуществляется интеграция разнородных данных, экспертных знаний, включающего в свой состав необходимые модели и алгоритмы мониторинга, прогнозирования и поддержки принятия решений

### Заключение

Мониторинг популяции диких северных оленей является сложной многоаспектной научной задачей, требующей междисциплинарного подхода и комплексного применения различных методов сбора данных и моделей биосистем различного уровня формализации. Интеграцию целесообразно осуществлять на базе интеллектуального интерфейса, обеспечивающего формирование целостного образа наблюдаемых природных явлений.

*Данная работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 13-08-00702, 13-15-41039, 11-08-01016, 11-08-00767), проектов ESTLATRUS/1.2./ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform», CARMA.*

### Литература

1. Колпащиков Л.А., Михайлов В.В., Мухачев А.Д. Экосистема: северные олени-пастбища-человек. СПб: Изд. Политехн. ун-та, 2011. 336 с.
2. Колпащиков Л.А., Павлов Б.М., Михайлов В.В. Методические рекомендации по авиаучёту численности и определению норм опромышления таймырской популяции диких северных оленей. Норильск. 1999. 24 с.
3. Шилин Б.В., Груздев В.Н., Васильев В.А., Гаврилов Д.С., Хотяков В.В. Основные достижения в развитии тепловой аэросъёмки // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 10. С. 77–83
4. Охлопков И.М., Николаев Е.А., Кириллин Е.В., Кириллин Р.А. Использование спутниковых радиощейников в наблюдении за популяциями диких северных оленей Якутии в 2010 году. <http://bultalt.ru/node/315>.
5. Лавриненко И. А., Лавриненко О. В. Влияние климатических изменений на растительный покров островов Баренцева моря // Труды КарНЦ РАН. Сер. «Экологические исследования». – 2013. (В печати).
6. Соколов А.Я., Кушнир А.Р. Терморегуляция и биоэнергетика северного оленя. Новосибирск: Изд. СО РАН, 1997. 178 с.
7. Mikhailov V. Simulation of Animal's Heat Balance. Trans. of IV Int. Conf. Problems of Cybernetics and Informatics (PCI'2012). Vaku. 2012. P. 47–63.
8. Макеев В.М., Клоков К.Б., Колпащиков Л.А., Михайлов В.В. Влияние изменений климата на северных оленей. СПб.: ЛЕМА, 2013. 236 с.
9. Зеленцов В.А., Охтилев 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.