

Внимание! В статью внесены небольшие изменения в 2020 году: изменено форматирование по сравнению с журнальным вариантом; уточнены некоторые положения; случаи замены схемных компонентов оговорены особо.

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА РАДИОПРОСЛЕЖИВАНИЯ ОДОМАШНИВАЕМЫХ ЛОСЕЙ

© 2015, 2020 г. А. Н. Минаев, А. В. Пуриков

*Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва,
119071, Россия
moosefarmer@mail.ru; <http://moose-farm.ru>*

Полувольное содержание одомашниваемых лосей, при котором большую часть жизни животные находятся на свободе, немислимо без возможности найти их в любое время и получения данных об их перемещениях по естественным пастбищам. Необходимость разработки отечественных систем радиопрослеживания диктуется труднодоступностью зарубежных: необходимостью получения дорогостоящих разрешений на ввоз и эксплуатацию, высокими ценами на зарубежную аппаратуру и ее обслуживание, несовместимостью частотных диапазонов. В 1981–1988 годах в ИЭМЭЖ АН СССР были разработаны отечественные биотелеметрические системы “Лось”, “Лось-2” и “Лось-3”, используемые при доместикации лося (Минаев, 1987). Начиная с 2005 года, взамен устаревших устройств был постепенно разработан унифицированный ряд радиометок с микропроцессорным управлением для крупных (массой от 1 кг) животных. Радиометки имеют ряд общих модулей и унифицированное программное обеспечение. Аппаратура успешно применяется в исследованиях и для обеспечения радиопрослеживания лосей Сумароковской лосиной фермы. Есть возможность для дальнейшего расширения и совершенствования.

ВВЕДЕНИЕ

В 1981–1988 годах в ИЭМЭЖ АН СССР были разработаны отечественные биотелеметрические системы “Лось”, “Лось-2” и “Лось-3” (Минаев, 1987). Решением ГКРЧ СССР нам была выделена “тихая” полоса частот 166.7–167.5 МГц; затем с ГИЭ МС СССР согласованы технические

условия ЛАУ.681500.001ТУ и ЛАУ.657100.001ТУ с выделением номиналов частот 166.960–167.150 МГц при сетке 10 кГц. В дальнейшем системы непрерывно совершенствовались схемотехнически, оставаясь в рамках требований ТУ.

Системы радиоопределения “Лось” и “Лось-2” состоят из передатчиков-радиометок, закрепляемых на животных, и комплексов приемной аппаратуры, позволяющих как определять местоположение животных методом триангуляции, так и непосредственно находить этих животных на местности. Разрешенная мощность передатчиков ограничена 30 мВт, однако реально для экономии источников питания приходится ограничиваться максимум 10 милливаттами в импульсе. Чувствительность приемников (минимальный обнаружимый сигнал) порядка 0,01 мкВ. Дальность обнаружения передатчика мощностью 10 мВт – от 1 до 5–8 км на лесистой среднепересеченной местности с земли, и порядка 75 км – с самолета АН-2 при оптимальной высоте полёта 900 метров. Продолжительность работы радиометок 1–3 года. Кроме Костромской лосиной фермы, применялись в Амурской, Белгородской, Бухарской, Костромской, Московской, Рязанской, Тверской областях, Якутии и Краснодарском крае при прослеживании косуль, лосей, кабанов, бобров, лис, оленей, джейранов, ежей и черепах, а также лошадей, находящихся на вольном содержании. Система “Лось-3” состоит из передатчиков и приемно-дешифрирующей аппаратуры для дистанционной записи электрокардиограммы, электроэнцефалограммы, частоты дыхания. Можно также регистрировать частоты сердечных сокращений плодов в утробе лосих. Мощность передатчиков 10–30 мВт, дальность действия – до 4 км. Использовались в Костромской, Московской, Рязанской, Херсонской областях при исследованиях поведения и физиологии лосей, пятнистых оленей, антилоп канна, косуль. Комплекс прошел апробацию в 1 Московском Медицинском Институте им. И. М. Сеченова и признан перспективным медицинским прибором. Разработаны также специальные модификации системы “Лось-2”. Во-первых, модификация для “летающих шприцов”, применяемых для иммобилизации животных, с дальностью обнаружения порядка 500 метров и продолжительностью работы до 1 недели, выдерживающая ускорения при выстреле из специального ружья и арбалета и попадании в животное. Во-вторых, миниатюрные модификации – массой около 5 и 3 граммов – для вживления в небольших млекопитающих с дальностью обнаружения до 300 и 100 метров соответственно, продолжительностью работы до 1 года. Вся перечисленная аппаратура была собрана по “классическим” схемам без применения микропроцессоров.

С появлением микропроцессоров, интегральных микросхем-приемопередатчиков, миниатюрных высокочувствительных модулей GPS, а также приемопередающих устройств широкого применения от GSM до

спутниковых, в последние годы появилась возможность создания унифицированного ряда приборов – радиометок для прослеживания крупных животных (массой от 1 кг) с микропроцессорным управлением: от простых меток-“маяков” массой 55 г до GPS+GSM-меток массой 350 г с расчетным сроком работы от 1 года. Функциональные возможности приборов из этого ряда можно изменять программным путем, при этом технические характеристики (например, дальность обнаружения при заданной массе и сроке работы) остаются близкими к характеристикам аппаратуры, собранной по “классическим” схемам, или их превосходят. Трудоемкость изготовления современных передатчиков существенно меньше, чем “классических”: печатные платы изготавливаются промышленным способом, используются промышленно произведенные катушки индуктивности, элементы настройки сведены к минимуму.

Для животных массой менее 1 кг радиометки пока делаются без микропроцессоров, но по современной технологии. В данной статье они не рассматриваются.

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ И ОПИСАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ БЛОКОВ

При разработке особое внимание уделялось двум вопросам: снижению энергопотребления и повышению прочности и надежности при сохранении минимально возможных размеров и массы.

Был принят блочный принцип построения радиометок. Выбор состава этих блоков позволяет зоологу получить прибор, наиболее полно удовлетворяющий его запросам. При этом и 55-граммовый радиомаяк, и GPS+GSM-радиометка имеют идентичные процессоры и микросхемы приемопередатчиков ближнего действия, управляемые практически одной и той же программой с незначительными модификациями.

Прибор в максимальной конфигурации должен включать следующие составные части, блоки и модули:

1. Источник питания на основе элементов – одноразовых батарей или аккумуляторов – с высокой емкостью, или возобновляемых;
2. Процессорный управляющий блок;
3. Приемопередатчик ближнего действия с дальностью обнаружения 1–8 км и дальностью цифрового двустороннего радиоканала до 1 км;
4. Приемник какой-либо спутниковой навигационной системы, позволяющей получать координаты прибора (NAVSTAR, ГЛОНАСС, Galileo, BDS) или многосистемный;
5. Модуль энергонезависимой памяти, сохраняющий полученные локации;
6. Приемопередатчик системы дальнего действия, широкого применения (т.е. открытой для любого пользователя на коммерческой основе): GSM либо спутниковой Thuraya, Globalstar, Iridium, Orbcomm, и

т.п.;

7. Вспомогательные датчики: ускорения, температуры, магнитные, и

т.п.;

8. Ударопрочный герметичный корпус с заполнением всех полостей несжимаемым материалом.

Рассмотрим основные особенности частей и блоков по порядку. Обилие на рынке радиокомпонентов и модулей разных фирм с аналогичными характеристиками позволяет выбирать, исходя из “второстепенных обстоятельств” – например, “привычности” для конструктора, наличия программных наработок, а иногда – и цены.

1. В качестве источника питания используются литиевые элементы: от ER17335 китайской фирмы EEMB до LSH20 французской фирмы SAFT. Для питания модуля GSM применяется преобразователь-стабилизатор напряжения TPS63070. Для питания спутниковых приемопередатчиков приходилось ставить 2 источника: 1 литиевый элемент обеспечивал работу “маячка”, батарея из 3 последовательно соединенных элементов – всей остальной схемы. Расчетное время работы маячка было больше, чем “спутниковой” части, чтобы можно было найти животное и после прекращения приема SMS-сообщений. Более поздние конструкции также позволяют находить животных в конце срока службы батареи, т. к. мощность, потребляемая “маячком”, существенно меньше, чем модулем GSM, и “маячок” еще некоторое время продолжает работать.

Применение трехэлектродных герконов КМ-3 в качестве выключателей питания во всех конструкциях позволяет полностью обесточивать схему и избежать расхода батарей при хранении.

В аппаратуре для наземных животных применение солнечных батарей на данный момент признано нецелесообразным, в отличие от аппаратуры для птиц, но совершенствование технологии может позволить изменить эту ситуацию. Радиоустройства на птицах находятся в практически идеальных условиях как для приема сигналов GPS, так и для работы сотовой или спутниковой связи, не говоря уже об уровне освещенности. Именно поэтому радиометки для птиц получаются гораздо компактнее и легче, чем для наземных животных.

2. Были выбраны микропроцессоры Microchip 24-й серии, обладающие нужным набором функций при малом потреблении.

3. Приемопередатчик ближнего действия собран на микросхеме ADF7021-N. Небольшая выходная мощность до 10 мВт не позволяет достичь дальности обнаружения свыше 1–8 км (зависит от рельефа местности и характера растительности). Увеличение выходной мощности неприемлемо не только из-за ограничений на массу батареи питания, но также из-за законодательных ограничений. Поскольку дальность растет пропорционально корню третьей степени из мощности, для сколь-нибудь значительного увеличения дальности пришлось бы во много раз

увеличивать мощность, и 10 мВт представляется разумным компромиссом.

В обычном режиме передаются импульсы длительностью порядка 12 мс с интервалом порядка 1.5–2 секунд. Кроме того, приемопередатчик примерно раз в 2–5 минут кратковременно переходит в режим приема. Если в этот момент поступил вызов с устройства управления, находящегося на удалении до нескольких сотен метров от животного, происходит переход в цифровой режим двусторонней связи, при котором можно считать накопленные данные и изменить некоторые параметры программы прибора. К сожалению, при этом значительно возрастает потребление, поэтому цифровым режимом нежелательно пользоваться слишком часто.

Особо следует сказать о диапазоне частот, используемом для передатчика ближнего действия. В 1980–1981 годах методом прямого измерения дальности на размеченной трассе в лесу были проведены оценки пригодности различных частот для целей радиопрослеживания. Наилучшие результаты были получены для частот порядка 130–170 МГц. Прохождение в лесу радиоволн частот в выделенном нам диапазоне 167 МГц было отличное. Однако в 2001–2003 г.г. прежние разрешения утратили силу, “тихие” диапазоны, использовавшиеся ранее почти исключительно для научных исследований, были отданы под коммерческие цели, а переоформление разрешений потребовало бы затрат, превышающих годовой бюджет лаборатории. Поэтому было принято решение о постепенном переходе в полосу, для которой не требуется регистрация передатчиков в соответствии с Правилами регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств (утв. постановлением Правительства РФ от 12 октября 2004 г. N 539 с изменениями до 2014 года), см. приложение, п. 22: “неспециализированные (любого назначения) устройства в полосах радиочастот: ... и 433,075 – 434,790 МГц с допустимой мощностью излучения передатчика не более 10 мВт...”

На открытой местности заметной разницы нет, однако в лесу радиоволны диапазона 434 МГц распространяются хуже, чем 167 МГц, что, однако, в некоторой степени компенсируется более высоким к.п.д. излучающей антенны.

4. Среди спутниковых навигационных систем, позволяющих получать координаты прибора, до сих пор самой эффективной, т. е. дающей возможность определения за короткое время, является американская NAVSTAR, в обиходе обычно называемая GPS. Многосистемные приемники GNSS (принимающие, кроме GPS, еще и ГЛОНАСС, COMPASS, Galileo, BDS) перспективны, но пока еще не дают заметного выигрыша. Различные “помощники” SBAS: WAAS, EGNOS, QZSS, увеличивающие точность, не работоспособны на территории России из-за отсутствия станций дифференциальной коррекции, а точность в несколько

метров и даже десятков метров, которая достижима без их использования, вполне достаточна при прослеживании крупных животных. Технология A-GPS, сокращающая время первой привязки, требует установления GSM-соединения перед привязкой, что выливается в непоправимые энергозатраты.

До появления в 2006 году в продаже миниатюрных модульных приемников сигналов GPS нового поколения наподобие GlobalSat EM-406 на чипсете SiRF StarIII или U-blox LEA-5H на U-blox5 получение координат при “холодном” и даже “теплом” старте под пологом леса было затруднительно, даже если животное не двигалось, и практически невозможно при движении животного. Все прежние приемники хорошо работали, если им между измерениями не отключали питание, но требовали длительных выдержек неподвижной антенны при “холодном” и даже “теплом” старте в лесу. Это грозило длительной потерей работоспособности прибора – по крайней мере, до выхода животного на открытое пространство. В настоящее время мы продолжаем использовать модули GlobalSat ET-318 на основе SiRF StarIII, однако в последних экземплярах установлены многосистемные модули Ublox M8Q с меньшим потреблением и более высокой чувствительностью. Все перечисленные модули выдерживают 100% заполнение эпоксидным компаундом под вакуумом без изменения характеристик.

5. Память EEPROM 24LC1026 позволяет хранить данные за последние 16-18 месяцев наблюдений, то есть, как правило, больше, чем за время работы батареи.

6. Возможности выбора спутниковой системы для передачи накопленных данных исследователю невелики: за последние 20–30 лет во всем мире из трех десятков спроектированных и даже запущенных спутниковых связных систем общего и ограниченного пользования “выжили” лишь единицы. Это Коспас-Sarsat, Инмарсат (Inmarsat), Аргос (Argos), Иридиум (Iridium), Глобалстар (Globalstar), Турайя (Thuraya), и несколько в стороне стоит Орбкомм (Orbcomm). Некоторые из них способны не только передавать данные, но и приблизительно определять координаты передатчика по эффекту Доплера. Ниже приводятся краткие характеристики рассмотренных нами систем:

- Коспас-Sarsat – международная система, которая позволяет приблизительно определить координаты передатчика по эффекту Доплера, а в сочетании с GPS получить точность до нескольких метров. Однако из-за малой пропускной способности ее применение ограничено только обеспечением безопасности, и поэтому для прослеживания животных она не применяется.

- Курс (“Надежда-М”) – отечественная система, коммерческий аналог Коспаса. На момент написания статьи все спутники системы вышли из строя.

- Inmarsat – крайне дорогая международная система телефонной связи и передачи данных. Для прослеживания животных она непригодна, поскольку терминал имеет слишком большие размеры и массу.

- Argos – американо-французская система передачи данных и определения координат по эффекту Доплера. Работает на коммерческой основе; широко используется во всем мире для экологических исследований, в том числе и для прослеживания животных. В сочетании с GPS дает высокую точность. Относительно дорогая (порядка \$2000 за метку), обслуживание платное.

- Orbcomm соединяет компьютеры пользователей в сети; “сетевые карточки” – терминалы имеют массу от 100 граммов. Для прослеживания животных не применяется, т.к. уступает по энергетическим показателям системе Argos. Прецеденты получения разрешений на территории России автору неизвестны, хотя Россия участвовала в запусках спутников Orbcomm.

- Гонец – отечественный аналог Orbcomm. Малогабаритные OEM-модули пока не доступны. В спутниковой группировке на момент написания статьи 7 спутников (из 24, которые обеспечили бы полное покрытие), что приводит к длительным временам ожидания на средних широтах и ухудшает энергетику относительно системы Orbcomm.

- Iridium, Globalstar и Thuraya – спутниковые системы связи общего пользования; их терминалы имеют приемлемые размеры, стоимость и массу.

Из всех связных спутниковых систем только для американской Globalstar и принадлежащей Объединенным арабским эмиратам Thuraya не требуется предварительного получения дорогостоящего разрешения на эксплуатацию в России или покупки дорогостоящей сим-карты. Достаточно установить в терминал сим-карточку МТС или Билайн от сотового телефона и открыть международный доступ и роуминг. В своих экспериментах с Thuraya мы использовали карты МТС, устанавливая их в терминалы фирм Ascot и Hughes, однако стоимость SMS в последнее время поднялась до 29 рублей.

Из модулей GSM мы применяли весьма чувствительные SIM-900. К сожалению, эти модули сняты с производства, а заменяющие их SIM800 требуют преобразователя-стабилизатора питания. Модули выдерживают 100% заполнение эпоксидным компаундом под вакуумом без изменения характеристик.

7. Датчики температуры SSTS751 устарели, применяем TMP100NA/250. Калибровка датчика ускорения MMA7455L потребовала проведения отдельного исследования, в ходе которого его показания сопоставляли с данными визуального наблюдения за поведением лоса. Более современные MMA8652FC потребовали изменения порога срабатывания из-за увеличения разрядности. В качестве магнитных

датчиков для простоты и надёжности используются герконы.

СОСТАВ И ВОЗМОЖНОСТИ РАДИОМЕТОК РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Первый в ряду – простейший маячок (рис. 1). Он содержит процессорный управляющий блок, приемопередатчик ближнего действия с дальностью обнаружения 1–8 км, источник питания на основе литиевых элементов с высокой емкостью. К примеру, литиевый элемент типоразмера ER17335 (EEMB) обеспечивает работу передатчика в течение года, LS33600 (SAFT) – до 5–6 лет. Масса передатчика с антенной, но без крепления (ошейника) в первом случае составляет 55 граммов, во втором – около 220 граммов.

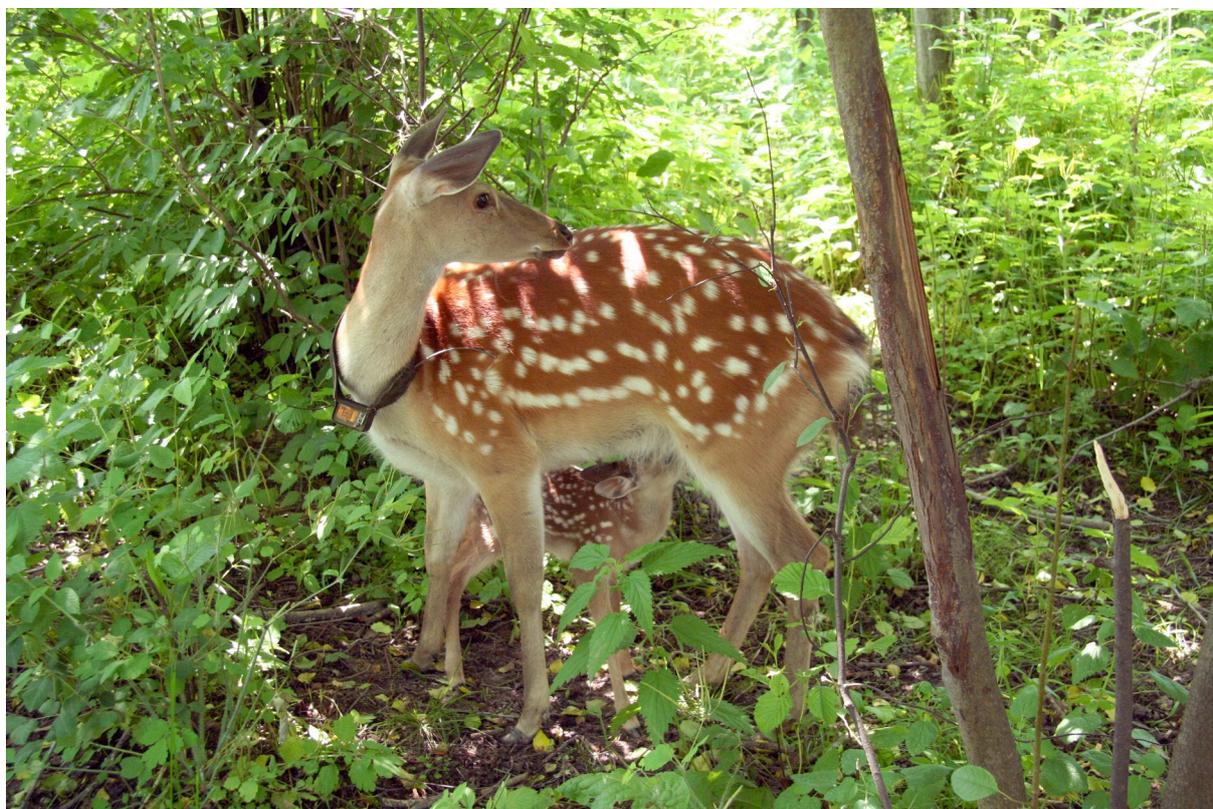


Рис. 1. Самка пятнистого оленя с “маячком”

Недорогой радиомаяк достаточен для организации прослеживания животных “вручную” при помощи нескольких стационарных приемных пунктов с поворотными антеннами на вышках и (или) нескольких портативных пеленгаторов для непосредственного поиска животных. Преимущества – низкая стоимость и круглосуточное функционирование; недостатки – малый радиус действия и большая трудоемкость постоянного слежения. При необходимости может быть установлен датчик ускорения

для получения данных об активности животного (движении/покое) в реальном времени. Наличие вспомогательного магнитного датчика (второго геркона) позволило применить передатчики-маячки в качестве сторожевой сигнализации при отлове хищных животных петлями: после срабатывания ловушки передаются двойные импульсы. В настоящее время все лоси, передерживаемые в загонах, имеют маячок с батареей LS33600 для “подстраховки” на случай ухода. Лёгкие маячки с батареей ER17335 установлены на некоторых лосятах в группе (поскольку лосята, как правило, держатся вместе, нет необходимости ставить маячки на всех).

Добавление к маячку модуля GPS, в принципе, позволяет получать координаты животного по запросу, поскольку микросхема ADF7021 содержит не только передатчик, но и приемник. Однако дальность связи (сотни метров) слишком мала, чтобы такая радиометка могла найти практическое применение. Добавление же энергонезависимой памяти к маячку и GPS-приемнику превращает прибор в так называемый “логгер”, с заданной периодичностью получающий координаты с помощью системы GPS и сохраняющий их в энергонезависимой памяти. Через приемопередатчик ближнего действия можно время от времени “снимать” данные с прибора и очищать память, но для этого также надо подходить к животному на небольшое расстояние (в сотни метров), пользуясь портативным пеленгатором для поиска. Возможно, дальность приема-передачи удастся увеличить в несколько раз, поднимая управляющий приемопередатчик на БПЛА типа квадрокоптер. Следует помнить, что в режиме двусторонней связи потребление энергии значительно возрастает, поэтому снятие данных не рекомендуется проводить слишком часто. Если же снятия не делать, то данные станут доступными только после повторного отлова или сброса ошейника специальным устройством. Описанный вариант радиометки прекрасно подходит, и использовался для автоматической регистрации перемещений прирученных животных в условиях вольного содержания, где есть возможность в любое время снять прибор и заменить батареи питания и модули памяти: на Костромской лосеферме, в Лосином острове, в хозяйствах, разводящих лошадей в Тверской области и в Якутии.

Наконец, добавление приемопередатчика связной системы общего пользования (GSM или спутникового) завершает конструкцию. Если в районе исследований есть покрытие сетями сотовой связи, то можно включить в состав радиометки модуль GSM, если нет – придется использовать более дорогие спутниковые Thuraya, Globalstar, Iridium, Orbcomm. Это позволяет, не выходя из дома, с заданной периодичностью получать накопленные данные о перемещениях животного и о его двигательной активности. Так, пробные приемопередатчики GPS+Thuraya были разработаны для замены дорогостоящей аппаратуры GPS+Argos. Использовались в Калужской, Костромской и Московской областях для

исследования перемещений и ритма активности зубров и вольноживущих прирученных лосей. В прибор может быть установлен спутниковый модуль системы Iridium, но в настоящее время цены на ее обслуживание значительно выросли. Практически все районы, где мы проводим исследования, к настоящему времени оказались с сотовой связью, более или менее надежной. Кроме того, стоимость услуг Argos в последнее время уменьшилась, а доступность – увеличилась. Поэтому к разработке спутниковых систем мы пока больше не возвращаемся и продолжаем развитие аппаратуры GPS+GSM. Передатчики GPS+GSM использовались в Калужской, Орловской, Владимирской областях для прослеживания зубров, в Костромской и Московской – для прослеживания прирученных лосей (рис.2), в Тверской – лошадей, находящихся на вольном содержании, в Забайкалье – волков.



Рис. 2. На прирученном лосе слева – приемопередатчик, имеющий полный набор функций (GPS+GSM) и рассчитанный на 1 год работы. Во втором ошейнике – “маячок”, рассчитанный на 5 лет работы.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Конструктивные особенности прибора должны обеспечивать механическую прочность и герметичность в течение срока эксплуатации. Однако мы считаем нерациональным делать (по крайней мере, для крупных копытных, тем более - прирученных) “одноразовые” приборы,

полностью залитые компаундом, и которые после использования батареи должны быть выброшены. В наших конструкциях смена элемента питания предусмотрена, хотя и не так проста, как смена батареек бытовых приборов: для надежности нужна пайка и герметизация. При пайке следует соблюдать особую осторожность, т.к. литиевые элементы взрывоопасны. Не допускается пайка к корпусу элемента, нужно предварительно точечной сваркой приварить к днищу никелевую ленту. Для герметизации батарейный отсек заполняем густой смазкой, воздуха в нем должно остаться как можно меньше. Мы применяли солидол, Литол-24, позднее – смазку АМС-1 или АМС-3, предназначенную для предотвращения коррозии механизмов кораблей, подводных лодок, гидросамолетов. Попытка применить американскую “absolutely waterproof” смазку Lube-O-Seal привела к потере двух передатчиков из-за проникновения воды к сервисному разъему и батарееке. Смазки АМС оказались самыми надежными.

Корпуса приборов, эксплуатировавшихся ранее на лосях в Сумароковском заказнике Костромской области и в Лосином острове под Москвой, были сделаны методом отливки из эпоксидной смолы, а платы с электронными компонентами залиты авиационным герметиком Лепта-104. Однако для зубров и лошадей такая конструкция оказалась недостаточно прочной и жесткой. В настоящее время вся электронная часть вместе с GPS patch-антенной заливается под вакуумом эпоксидным компаундом на основе смолы Этал-370 с отвердителем 921-ОП или М4. Расстройка керамических patch-антенн GPS при заливке компенсируется предварительным сдвигом верхнего и нижнего резонансов путем подшлифовки серебряного слоя с контролем рефлектметром.

Если антенна GPS находится в верхней точке ошейника (на холке животного) и соединена кабелем с остальной частью прибора, то модуль GPS работает в оптимальном режиме, и среднее время, затраченное на получение координат, оказывается минимальным; минимальным оказывается и расход батареи питания. Однако от выноса каких-либо антенн при помощи кабелей в ошейнике пришлось пока отказаться. Если на лосихе кабель выдержал 1,5-годовую эксплуатацию, то на зубрице GPS вышел из строя через 2 месяца, а на лошади – через год. Размещение антенны GPS сбоку прибора под углом 60° к основанию оказалось разумным компромиссом. Последним “слабым местом” до сих пор остается штыревая антенна GSM – стальной тросик длиной около 70 мм. К сожалению, “скрытые” антенны обладают, как правило, меньшей эффективностью, чем штыревые. Возможно, в будущем удастся перейти на скрытые GSM-антенны. Но даже в случае поломки штыревой антенны в теле передатчика остаются дорожка на плате и “якорь” с винтами, которые продолжают играть роль антенны, и при хорошем покрытии GSM обеспечивают связь.

Передача данных производится в виде SMS-сообщений, поскольку протокол GPRS не обязательно поддерживается на всех базовых станциях GSM, особенно в сельской местности. Кроме координат, SMS содержит данные о суточной активности животного с интервалом 10 минут; номер сообщения; служебные данные о температуре внутри прибора и напряжении батареи питания; о времени, затраченном на получение координат и о количестве попыток входа в сеть. В первых версиях аппаратуры применялись текстовые, читаемые человеком SMS, но это позволяло в одном сообщении передавать только 5 точек. В следующих версиях было применено сжатие.

Длина SMS-сообщения ограничена 160 семибитными символами. Из соображений совместимости набор используемых символов приходится сокращать, так что одним символом передается только 6 бит. На передачу активности тратится 24 символа, служебных данных – суммарно 5 символов. На передачу координат остается 131 символ, поэтому при необходимости передать в одной SMS 24 точки каждая точка (локация) должна занимать не более 32 бит. Алгоритм, который позволяет уложиться в это ограничение, следующий. С высокой точностью кодируется только 1 локация в сообщении, следующие передаются в виде поправок к ней, причем значения поправок преобразованы нелинейной функцией, представляющей собой арктангенс с масштабными коэффициентами. Функция арктангенса обладает двумя ценными в данном случае свойствами – во-первых, в окрестности нуля ее значение мало отличается от аргумента, во-вторых, при любых значениях аргумента значение ее находится в ограниченном диапазоне. Таким образом, дискретность кодируемой величины медленно растет по мере удаления от первой, “базовой” точки, но даже при больших удалениях не возникает эффекта “ограничения” из-за фиксированной битовой длины поля. Кодирование происходит по следующей формуле:

$$dLat_compr = floor\left(\frac{2048}{\pi} \arctan\left(dLat \left(\frac{180}{\pi} 2^{F_{compr}}\right)\right)\right), \text{ где}$$

$dLat$ представляет собой разность между широтой кодируемой и базовой точек; F_{compr} – натуральное число, оно задается исследователем при настройке приемопередатчика перед установкой его на животное и определяет характер дискретизации отсчетов во всем диапазоне измерений. Результат кодирования $dLat_compr$ всегда попадает в диапазон от –1024 до +1023, кодируемый 11 битами. При используемых обычно настройках на передачу каждой координаты отводится всего 11 бит, еще 8 бит отводится на передачу времени, то есть суммарно локация кодируется 30 битами. При этом на расстояниях от базовой точки до 2–3 км ошибка не превысит 10 метров, до 20 км – 200 м, и даже если животное уйдет за сутки за 100 километров, то ошибка не превысит 4 км, а следующая базовая точка опять будет иметь хорошую точность. Приведенные значения дополнительной

погрешности верны для $F_{compr} = 5$, а для $F_{compr} = 3$ ошибка при уходе на 100 км уменьшится до 1 км, однако дискретность отсчетов вблизи базовой точки увеличится с 5 до 20 метров. Разумеется, для отслеживания автомобиля используемые параметры подходят плохо, и при перевозке включенных ошейников следует иметь в виду данную особенность. Впрочем, все данные, накопленные в EEPROM, имеют точность первой локации, и, если удалось снять ошейник или считать данные через радиоканал, можно сравнить треки – у нас они были практически идентичными, редкие отклонения не превышали единиц метров.

Для каждого конкретного применения режим работы задается перед установкой на животное, но при особой необходимости настройку можно изменить, даже не снимая ошейник с животного, с помощью приемопередатчика ближнего действия. Для этого придется подкрасться к животному на расстояние в несколько сотен метров, пользуясь портативным пеленгатором, и дистанционно переключить прибор в режим цифровой связи. В этом режиме, кроме изменения настроек, также возможно оперативное получение координат животного и чтение сохраненного в памяти трека. На Сумароковской лосеферме имеется стационарная поворотная антенна на крыше лаборатории, которая используется для связи с передатчиками. Максимальная дальность составляла 1,2 километра.

При прослеживании крупных животных мы считаем оптимальным получение до 24 локаций и отправку 1 SMS-сообщения в сутки. Если модуль GSM в лосином передатчике не смог войти в сотовую сеть, предпринимаются еще до 23 попыток в сутки с интервалом в 1 час. Поскольку зубры и лошади, в отличие от лосей, почти круглосуточно находятся в движении, для них предельное количество попыток отправки в сутки было уменьшено до 13. Модуль GSM включается только при условии активности животного, и лишь последняя попытка делается “безусловной” на случай потери ошейника или гибели животного. При температуре ниже -16°C отправка не производится. В морозы или при отсутствии сотовой связи данные накапливаются, и затем в случае успешного входа в сеть сбрасываются в виде соответствующего количества SMS (до 24 точек на 1 сообщение).

Предполагаемая продолжительность работы прибора рассчитывается исходя из емкости батареи и среднего потребляемого тока. Поскольку токи потребления радиометки в “спящем” режиме, режиме передачи импульса передатчика ближнего действия, режимах получения координат GPS и связи с базовой станцией GSM различаются почти в тысячу раз, а в режимах с большим потреблением прибор находится лишь малую часть времени, измерение среднего тока потребления – непростая задача. Для ее решения был разработан вспомогательный прибор (кулонометр), измеряющий заряд, протекающий по проводу питания, за значительное

время, до нескольких суток. Для большинства применений расчетная продолжительность работы задается не менее года с небольшим запасом, поскольку отлов зачастую возможен лишь в короткий период или сезон года.

Реальная продолжительность работы прибора, собранного в максимальной конфигурации и запрограммированного на получение 24 локаций в сутки, зависит в основном от трех внешних условий: рельефа местности, соотношения времени, которое животное проводит под кронами деревьев и на открытых местах, и качества покрытия GSM. Дело в том, что, при сильных сигналах от спутников GPS модуль быстрее получает координаты, и его можно пораньше выключить. Аналогично, при хорошем покрытии GSM передача SMS-сообщения производится быстрее и с меньшим количеством дополнительных попыток, чем при плохом. При неудачных попытках привязки и отправки расход энергии максимален, поскольку модули отключаются по таймауту позже, чем при удачных. В среднем, больше всего энергия батарей расходуется на работу GPS, несколько меньшая мощность идет на работу “маячка”, а расход энергии на отправку сообщений сравнительно невелик, поэтому много сэкономить на отправке не удастся. Маячок можно и отключить, но это значительно затруднит поиск в “аварийных” ситуациях. Реальный выигрыш может дать только применение в будущем модулей GPS с меньшим потреблением при “теплом старте”. В глубоких оврагах под сомкнутыми кронами деревьев в лесу летом сигналы GPS и GSM весьма слабы, но именно там проводят большую часть времени зубры Калужских Засек, и приборы работают в среднем около 9 месяцев, а в Орловской, Костромской, Владимирской, Московской областях – 14. Последняя цифра даже несколько занижена, т. к. в большинстве случаев приходится снимать еще работающую радиометку и заменять ее новой ввиду ограничений на сроки отлова. На лосеферме запас энергии батареи расходуется полностью, поскольку каждое сообщение содержит данные о напряжении батареи, и при его снижении замена передатчика на прирученном животном, как правило, не составляет трудности, поэтому передатчики эксплуатируются до 20 месяцев без смены батареи.

ПРОБЛЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ПРОТИВОУГОННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И “ОХОТНИЧЬЕ-СОБАЧЬИХ” GPS+GSM ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ-ЛОГГЕРОВ

В принципе, все те же блоки (как правило, кроме приемопередатчика ближнего действия) имеют приборы, предназначенные для отслеживания грузов (контейнеров) на железной дороге и автотранспорта, спутниковая и GSM-сигнализация для автомобилей. В силу массового производства, эти приборы доступны и дешевы. Однако аппаратура для отслеживания контейнеров имеет большие габариты и массу. Приборы для автомобилей

питаются от аккумулятора и генератора автомобиля, и могут потреблять значительную мощность. Существует и автомобильная противоугонная сигнализация с автономным питанием, которая может работать годами в “ждущем” режиме, но после срабатывания датчиков или ручного перевода в режим отслеживания срок ее работы весьма ограничен. Известные автомобильные приборы, даже предназначенные для установки снаружи кузова, как это ни парадоксально, не являются в достаточной степени влагозащищенными. Они могут выдерживать значительные ускорения и вибрацию, но не удары об деревья с последующим погружением в воду на глубину до метра. Например, лоси летом проводят много времени в воде, ныряя за водорослями. Температура ошейника достигает 30°–40°С на солнце, и воздух, находящийся внутри прибора, выходит через самые незначительные дефекты уплотнений, образовавшиеся при ударах. При погружении в воду с более низкой температурой давление внутри снижается, в результате чего вода проникает в прибор и нарушает его работу. Внутри прибора, предназначенного для работы на животном, по нашим представлениям, не должно быть воздуха. И, наконец, “автомобильно-железнодорожная” аппаратура не рассчитана на работу в движении под пологом леса, ведь почти над любой дорогой есть полоса открытого неба.

Приемопередатчики для охотничьих собак массово производятся и продаются, они недороги, позволяют видеть перемещения помеченных животных в зонах покрытия сетями GSM на смартфоне, ноутбуке, планшете, и т. п. Однако срок их действия ограничен несколькими сутками, и среди всего разнообразия не удалось найти ни одного полностью герметичного и достаточно прочного прибора.

СРАВНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ АППАРАТУРЫ С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

Аппаратура, аналогичная нашей, выпускается рядом коммерческих фирм за рубежом, таких, как: Advanced telemetry systems (<http://www.atstrack.com/>), Wildlife materials (<http://wildlifematerials.com/>), Telonics (<http://telonics.com/wildlife.php>), Microwave telemetry (<http://www.microwavetelemetry.com/>), Followit (<http://wildlife.followit.se/>), Lotek (<http://www.lotek.com/>), Sirtrack (<http://sirtrack.com>), Africa wildlife tracking (<http://www.awt.co.za/>), а также разрабатывается на некоммерческой основе: “Clark animal tracking system” (<http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=16934>).

При прочих равных параметрах с иностранными разработками наша имеет следующие преимущества: 1. Передача данных осуществляется в более экономном режиме, т. к. на передачу 24 точек расходуется столько же энергии батареи, сколько на передачу пяти-семи, благодаря применению нелинейного сжатия данных. 2. Аппаратура может работать в

безлицензионных диапазонах частот, следовательно, не требуется дорогостоящих разрешений на ввоз и использование.

При сравнении массогабаритных параметров приборов следует не забывать про различие в условиях распространения радиоволн в лесу у поверхности земли и в воздухе над кронами деревьев: приемопередатчики для птиц могут иметь существенно меньшие габариты и массу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Минаев А.Н.*, 1987. Радиотехнические средства, используемые при доместикации животных. // Проблемы доместикации животных. М., Наука, 1987, с. 103–111.
- Минаев А.Н.*, 2011. Технические характеристики некоторых радиотелеметрических систем для млекопитающих. // Дистанционные методы исследования в зоологии. Материалы научной конференции, Товарищество научных изданий КМК, с. 52