

СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ПРОСЛЕЖИВАНИЯ ЖИВОТНЫХ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Минаев А.Н.

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН
moosefarmer@mail.ru <http://moosefarm.newmail.ru>

Спутниковое прослеживание животных широко применяется во всем мире при экологических исследованиях и разведении животных в неволе с последующим выпуском с целью восстановления численности, в том числе – видов, занесенных в Красную книгу.

В нашей стране применению спутниковых систем прослеживания препятствует, прежде всего, чрезвычайно высокая стоимость самой аппаратуры и ее обслуживания (передачи данных исследователю), а также сложная и дорогостоящая процедура выдачи разрешений на эксплуатацию приемопередатчиков. Перечисленное, прежде всего, относится к используемой сейчас во всем мире для экологических исследований системе ограниченного применения Аргос (Argos) – своеобразному мировому монополисту, устанавливающему монопольные цены. В связи с этим была поставлена задача поиска альтернативной спутниковой системы, пригодной для прослеживания, по крайней мере, крупных копытных животных, таких как зубры и лоси.

Для того чтобы исследователь узнал, где находится исследуемое животное в определенный момент времени, на животное устанавливают радиометку. Есть, в принципе, два способа определить местоположение радиометки при помощи спутниковых систем. В простейшем случае сигнал, излучаемый радиометкой, принимается пролетающим спутником, и по сдвигу частоты принятого сигнала за счет эффекта Доплера вычисляются координаты передатчика. Преимущества метода – простота и малая масса передатчиков, недостаток – достигающая километров ошибка, зависящая от мощности и стабильности передатчиков и напряженности поля помех.

Второй способ – закрепление на животном приемника GPS, определяющего координаты путем приема сигналов с пролетающих спутников – в большинстве случаев обеспечивает точность не хуже нескольких десятков метров. Определенные таким образом координаты животного должны быть переданы исследователю в режиме реального времени либо с приемлемой задержкой. Для этого требуется вторая («связная») система – кстати, не обязательно спутниковая, иногда хватает сотового телефона (модуля GSM) или передатчика с малым радиусом действия для «съема» данных с ошейника. В данной работе рассматриваются радиометки, накапливающие в памяти данные измерений и передающие их через систему связи общего пользования (т.е. открытую для любого пользователя на коммерческой основе).

Возможности выбора спутниковой системы невелики: за последние 20 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 – 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. В реальности не существует.

- Inmarsat – 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. Стоимость терминалов порядка \$2000 - \$6000, годового обслуживания одной радиометки – от \$1400. В последние годы появились прецеденты получения дорогостоящих временных (17 тысяч рублей на полгода) разрешений для применения на территории России.

- Кондор – отечественный аналог Аргоса, в реальности не существует.

- 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 участвует в запусках спутников Orbcomm.

- Гонец – отечественный аналог Orbcomm, в реальности пока не существует. Сетевые решения имеет смысл применять при большом потоке данных – например, при установке на животное фотоаппарата или видеокамеры.

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

Из всех связанных спутниковых систем только для американской Globalstar и принадлежащей Объединенным арабским эмиратам Thuraya не требуется предварительного получения дорогостоящего разрешения на эксплуатацию в России. Достаточно установить в терминал сим-карточку МТС или Билайн от сотового телефона и открыть международный доступ и роуминг (в МТС открываются бесплатно, в Билайн – также бесплатно, но требуется наличие на счету суммы не менее \$50).

На момент начала данной работы терминалы Globalstar имели большие габариты и вес по сравнению с Thuraya, а стоимость передачи нужной нам информации у Thuraya и сейчас остается существенно ниже, чем у всех остальных систем. Передача SMS через спутник по стоимости сравнима с

передачей через сотовый телефон в роуминге (\$0,25 по карточке Thuraya или 15 рублей в 2009 году - по карточке МТС или Билайн), а в одно сообщение можно поместить несколько точек определения координат GPS. Покрывает почти всю территорию России, за исключением северных районов и Дальнего Востока. GPS платформа уже интегрирована с терминалом. Globalstar, к сожалению, в настоящее время требует длительного времени для вхождения в связь из-за плохого состояния спутникового сегмента системы. Поэтому было принято решение о проведении экспериментов по радиопрослеживанию на базе системы Thuraya, в том числе в реальной среде обитания животных с установкой терминала на ошейник животного, находящегося в лесу.

С точки зрения пользователя, терминал представляет собой аналог сотового телефона с встроенным GPS, который может работать по выбору через наземные сети GSM или через спутник. Поддерживает режимы: разговор, передачу коротких сообщений SMS, GmPRS (аналог GPRS) выход в интернет. Объявлено о выпуске модуля с встроенным GPS приемником общей массой 60 граммов, но пока он в Россию не поставляется. Для начала мы купили (теперь уже безнадежно устаревшие) терминалы Ascot и на их основе построили экспериментальные, в первом варианте весьма тяжелые (весом около 2 кг) приемопередатчики для лосей и зубров. Применение модуля позволит в дальнейшем в 2-3 раза снизить массу радиометок.

Система Thuraya использует геостационарные спутники. Поскольку геостационарный спутник находится от нас на расстоянии 36 тысяч километров, мы работаем на широтах 50-60 градусов (спутник «висит» на юге примерно в 20 градусах над горизонтом), а лось, как правило, живет в лесу, первым вопросом был вопрос об энергетике наземного терминала: хватит ли мощности передатчика для передачи из леса.

Эксперименты проводились на свободно передвигающихся в лесу прирученных животных Костромской лосефермы, которые позволяли надевать и снимать ошейники и производить манипуляции с закрепленными на ошейниках приборами. Было установлено, что вероятность успешного вхождения в связь со спутником невелика, если лось неподвижно лежит в лесу. Однако в движении терминал достаточно быстро – за 3-10 минут – проходил регистрацию на спутнике и отправлял сообщение. Вероятно, за короткие промежутки времени, когда радиоволны попадали в просветы между деревьями, терминал успевал обмениваться со спутником пакетами данных. Напротив, общеизвестно, что в лесу приемник GPS хорошо работает с «холодного» старта только при неподвижной антенне: сказывается изменение фазы при рассеянии. Поэтому было решено включать GPS в те промежутки времени, когда лось неподвижен, а терминал Thuraya – в периоды двигательной активности животного. Для надежного различения фаз активности в прибор установлен твердотельный датчик ускорения. Показания датчика сравниваются с эталонными, записанными на лежащих и передвигающихся лосях.

Исходя из предельно допустимой массы, был выбран источник питания, состоящий из четырех элементов LSH20. Три последовательно соединенных элемента через преобразователь питают спутниковый приемопередатчик, а

четвертый – маячок для непосредственного поиска животного в лесу при помощи портативного пеленгатора.

Радиометки могли быть запрограммированы на различную периодичность взятия координат и отсылки сообщений. С учетом того, что для прослеживания миграций крупных копытных животных вполне достаточно единичных определений координат в сутки, было решено передавать данные в виде ежедневных SMS-сообщений. Однако расход энергии на работу GPS-приемника почти на порядок меньше расхода на отправку сообщения через спутник Thuraya, и взятие координат было запрограммировано в четырех шестичасовых циклах в сутки: дается 12 попыток с интервалом в полчаса, но при обнаружении движения животного попытка пропускается. Для передачи данных запланированы 24 попытки в сутки, но при отсутствии движения попытка пропускается – кроме самой последней, так называемой «похоронки», дающей шанс обнаружить ошейник в случае его потери или гибели животного. Вот пример текста SMS-сообщения (от 23.06.2008, получено в 23:48:30):

```
DzM4RH03402Qi
MV10u18Q#00qX3u3ye#90mV0u
57411388041113344M6M145
57410368041118382N61248
57410431041124340N68155
57410637041122568N6D155
57406725041123944N6I153;
```

Каждое сообщение состоит из одной системной строки, одной строки активности и 0-5 строк позиции в зависимости от количества успешных попыток взятия координат и времени передачи. Часть данных передается в системе счисления по основанию 64, что позволяет сжать информацию, т.к. SMS-сообщение ограничено 160 символами из ограниченного набора (цифр, латинских букв и знаков препинания). В системной строке содержатся счетчики включений приемника GPS и терминала Thuraya, время, затраченное на взятие координат и передачу, напряжение батареи и – в последней версии – температура прибора. Активность кодируется нулем или единицей каждые 10 минут; после расшифровки визуально просматривается суточный ритм: 111111001000000000000011111101000000001111111010000000000000111100000001000101101111100000000000010111000011100000011111000001111000101.

Координаты в простейшем случае используются для построения треков в программе Ozi explorer. Надо оговориться, что, конечно, треки получаются довольно условные, по 3-4 точкам в сутки, но в случае миграции путь животного прорисовывается с хорошей точностью.

Готовые радиометки были опробованы на вольно живущих лосихах в Сумароковском лосином заказнике и Национальном парке Лосиный остров вблизи Москвы. В среднем получали около 3,5 из 4 измерений координат в сутки. Передача отсутствовала менее чем в 0,3% суток, в среднем на 1 SMS расходовалось около 2 попыток. Зимой успешных попыток больше, чем летом. Рельеф заметно влияет на вероятность успешной передачи. К сожалению,

опыты каждый раз прерывались по независящим от нас причинам, но в 2 ошейниках за полгода работы были израсходованы 1/4 и 1/3 емкости батареи. В этом году начаты исследования перемещения стада зубров в заповеднике Калужские засеки, получены первые SMS-сообщения.

Теперь вкратце рассмотрим основные преимущества и недостатки предложенной системы. Преимущества:

1. Не требуется никаких трудоемких и дорогостоящих согласовательно-разрешительных работ.
2. Стоимость обслуживания почти на порядок ниже, чем у Argos.
3. Относительно низка стоимость оборудования (стоимость закупленных деталей менее \$1000 на прибор).

Недостатки:

1. Невозможно собрать «лёгкий» вариант с определением координат только по Допплеру без GPS, как у Argos.
2. Относительно длительное время вхождения в связь со спутником, от 2 до 10 минут.
3. Возможность использования только в пределах зоны покрытия спутниковой системы Thuraya.

В заключение необходимо отметить, что описанная выше радиометка при минимальной аппаратной и программной доработке может использоваться с другими системами спутниковой связи широкого применения, наиболее подходящими из которых представляются Globalstar, Iridium или Orbcomm. Если будут реализованы планы обновления к 2012 г. космического сегмента системы Globalstar, эта система будет иметь некоторое преимущество перед Thuraya. Система Iridium могла бы обеспечить глобальное покрытие, но она, к сожалению, на территории России не лицензирована, хотя переговоры об этом продолжаются (<http://www.osp.ru/news/2009/0306/7202010/>).

В том случае, если предполагаемый район исследования имеет покрытие сотовыми сетями GSM, для передачи данных с радиоошейника имеет смысл воспользоваться легким и менее энергоемким GSM-модулем (см., например, http://www.televilt.se/fileArchive/pdf-dokument/Tellus_2007_GSM_2007-08-28_SCREEN.pdf). Даже если исследуемое животное выйдет из зоны покрытия, прослеженным окажется начальный участок пути миграции, и есть шанс, что в дальнейшем на пути миграции попадет участок с покрытием GSM. На основе описанного выше приемопередатчика GPS+Thuraya мы изготовили такие «упрощенные» радиометки, назвав их GPS+GSM. В настоящее время ими снабжаются лоси биостанции Национального парка Лосиный остров под Москвой. Масса лосиного радиоошейника GPS+GSM в 3 раза меньше, стоимость деталей в несколько раз ниже, чем GPS+Thuraya, стоимость обслуживания ниже на порядок.

Фотографии лосей с радиометками (в т. ч. спутниковыми) представлены на сайте <http://moosefarm.newmail.ru>.

Автор выражает благодарность инженеру Пурикову Александру Валерьевичу из фирмы Step Logic, чьими силами разработаны платы управления и программное обеспечение.