

УДК 575.17:599.73

КАК ПОСЧИТАТЬ САЙГАКОВ ИЗ КОСМОСА

Вячеслав Владимирович Рожнов¹, Анна Анатольевна Луцкекина¹, Анна Андреевна Ячменникова^{1,2}, Дмитрий Владимирович Добрынин²

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

²Инженерно-технологический центр «СКАНЭКС»

rozhnov.v@gmail.com

сайгак, спутниковые снимки высокого разрешения, дешифровочные признаки, учет численности

Анализ спутниковых снимков высокого разрешения, сделанных в зимний период, показал, что их дешифрирование позволяет идентифицировать на снимках сайгаков и одновременно выявлять распределение скоплений сайгака на большой территории. Рассмотрен набор дешифровочных признаков (цвет животных на снимке, их размеры и пропорции, форма и структура стада), позволяющий выявлять сайгаков. При этом следует использовать весь их спектр, подбирая параметры, которые четче и ярче выражены на снимке (в зависимости от условий съемки), а также их сочетание. Полученные результаты могут быть использованы для последующей разработки метода учета численности сайгака по спутниковым снимкам высокого разрешения.

HOW TO CALCULATE SAIGA FROM SPACE

Viatcheslav Vladimirovich Rozhnov¹, Anna Anatolievna Lushchekina¹, Anna Andreevna Yachmennikova^{1,2}, Dmitrii Vladimirovich Dobrynin²

¹A.N.Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences

²ScanEx Research and Development Center

rozhnov.v@gmail.com

saiga, high-resolution satellite images, interpretive signs, census

Analysis of high-resolution satellite images taken during the cold part of the year demonstrates that they can be used to reliably distinguish the saiga from domestic ungulates and also to determine the distribution of saiga herds over large areas. To achieve maximum reliability in differentiating animal species in satellite images, one should use a number of characteristics (including the color of animals, their size and shape, and herd structure) and prioritize those that are most prominently displayed in particular images. The results of this study can be used to develop a non-invasive and highly accurate method for saiga census.

Мониторинг животного мира (регулярный сбор данных о популяциях на определенных территориях через определенные промежутки времени), позволяет получать необходимые сведения о численности животных, состоянии популяций и среды их обитания, географическом распространении видов, а также других показателях. Одним из наиболее важных аспектов мониторинга диких животных является учет их численности, поскольку прогнозирование ее динамики необходимо как для обеспечения рационального использования охотничьих ресурсов, так и для разработки охранных мероприятий в отношении видов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации или Красные книги субъектов Российской Федерации.

Одним из таких видов является сайгак, состояние популяции которого на территории России является бедственным несмотря на ряд принятых постановлений Правительства Российской Федерации и регионов.

На территории России в экорегионе «Черные земли» (восточные районы Республики Калмыкия и юго-западные районы Астраханской области) обитает популяция сайгака,

состояние которой в настоящее время вызывает серьезные опасения. Если в 50-60-х годах прошлого века численность сайгаков, обитавших в этом регионе, достигала почти 800 тыс. голов, то в последние десятилетия на данном участке ареала она стремительно сокращается [8]. К весне 2012 г. ситуация с сайгаком, обитающим на территории экорегиона «Черные земли», стала еще более тревожной – согласно материалам, представленным на совещании в Минприроды России 15 августа 2012 г., численность сайгака в этом регионе не превышала 5 тыс. особей (<http://www.mnr.gov.ru/news/detail.php?ID=129113>). За прошедшие три года, несмотря на ряд мер, предпринятых ранее и в последние годы (запрет охотничьего промысла с 1998 г., проведение в 2010 г. «Года сайгака», Постановление Правительства РФ от 31 октября 2013 г. № 978 и т.д.), согласно экспертным оценкам и нашим собственным визуальным наблюдениям пока не удалось остановить падение численности его популяции.

Учеты численности сайгака и обработка получаемых первичных данных проводились в разные годы и проводятся в настоящее время разными способами (авиаучеты с низколетящего самолета типа АН-2 или вертолета; автомобильные учеты), на основе методик, разработанных в недрах профильных организаций (Центрохотконтроль, ВНИИОЗ) и разными специалистами [1, 2, 6, 7, 11, 12] и т.п.). В данном сообщении мы не ставим перед собой задачу подробно анализировать применение этих методов и их дальнейшую обработку, но считаем необходимым обратить внимание на некоторые самые простые моменты.

Так или иначе, перечисленные выше методы сводятся к регистрации визуально увиденных животных, что при ежегодном применении этих методов, конечно, может дать представление о тенденциях изменения численности популяции. Однако, следует иметь в виду, что большую роль в таких учетах играет «человеческий фактор». Кроме того, результаты, полученные при использовании этих методов, в значительной степени зависят от выбранного способа обработки первичных материалов и, как правило, имеют большую статистическую ошибку, обусловленную еще и сложностью подсчета животных, быстро перемещающихся во время учета. При этом отчеты по проведенным учтам оседают в тех ведомствах, которые проводили эти работы, а в опубликованных статьях приводятся только конечные результаты, которые, порой, вызывают сомнения.

Также необходимо отметить, что, например, учет численности сайгаков с низколетящего самолета или вертолета, проводимый в соответствии с ведомственными методиками, осуществляется в период омета, что оказывает неблагоприятное воздействие, в основном, на рожающих самок и появившихся на свет сайгачат, пугая их своим шумом. Автомобильные учеты сайгака проводимые с использованием нескольких автомашин на параллельно заложенных трансектах (их 10), как это традиционно делается на территории Государственного природного биосферного заповедника «Черные земли» (<http://savesteppe.org/project/ru/archives/1653>), приводят к нарушению хрупкого почвенно-растительного покрова степи, и также являются мощным источником стресса для животных во время омета.

В последнее время для учета сайгака стали применять фотосъемку с беспилотного летающего аппарата в сезон размножения животных (<http://savesteppe.org/project/ru/archives/1372>), однако метод этот до конца не отработан и имеет свои ограничения.

Альтернативным подходом к оценке численности сайгака на заданной территории может стать использование спутниковых снимков высокого разрешения [10]. Дистанционные методы зондирования Земли активно развиваются, что позволяет использовать их для оценки состояния экосистем и различать на спутниковых снимках объекты достаточно малых размеров, в категорию которых попадают разные виды млекопитающих. Подобного рода работы начаты для разработки методов учета численности арктических млекопитающих, в частности белого медведя [9]. Эффективность использования

материалов спутниковой съемки уже подтверждена в ходе мониторинга популяции гренландских тюленей в Белом море (<http://whitecoats.kosmosnimki.ru/>) и диких северных оленей на территории Таймырского, Чукотского полуостровов, республики Саха (Якутия) и других регионов (<http://gisa.ru/70346.html>). Исходя из имеющегося опыта, авторы настоящей работы поставили перед собой цель, прежде всего, изучить возможности выявления изображений сайгаков на спутниковых снимках высокого разрешения, что в дальнейшем должно стать основой для разработки метода учета численности сайгака.

Логика нашей работы была достаточно проста. Прежде всего, для проведения нашего исследования было необходимо выбрать модельный участок, на территории которого гарантированно находились сайгаки. Таким участком стал питомник «Яшкульский» Центра диких животных Республики Калмыкия, расположенный в 70 км к востоку от г. Элисты (в его вольере в моменты съемки содержались сайгаки). Для тестирования методики в природной среде в качестве модельной территории для проведения космической съемки была выбрана территория Заказника «Степной» Астраханской области, где, согласно регулярным наземным наблюдениям, проводимым сотрудниками Заказника, возможность нахождения сайгака в моменты съемки была крайне велика и существовала постоянная возможность проверить полученные из космоса данные на местности. Затем следовало убедиться в том, что разрешение спутникового снимка позволяет выявить на нем объекты, размеры которых были бы сопоставимы с размерами сайгака. При этом следует отметить, что важным фактором для решения этой задачи является контрастность самого объекта и фона, на котором он отображается. Если такой объект удастся различить на снимке, то необходимо выявить дешифровочные признаки, по которым сайгака можно отличить от других пасущихся в степи животных, в первую очередь, овец, а также лошадей, коров, верблюдов. Такими признаками могут быть цвет животных на снимке, их размеры (длина, ширина и высота) и пропорции (отношение длины к ширине), а также структура и форма пасущихся стад (внешний контур «фигуры»).

Для исследования, результаты которого представлены ниже, были использованы снимки со спутников GeoEye-1, EROS-B и Plaedies, имеющие характеристики, отраженные в табл. 1. Анализ снимков проводили с использованием программы ScanEX IMAGE Processor, а для статистических расчетов – программу Statistics 8.0. Дистанции между группами и между животными в группах вычисляли с помощью программы MapInfo Professional 8.0 SCP.

Чтобы убедиться, что разрешение спутникового снимка позволяет выявить на нем объект размером с сайгака, были проанализированы три снимка, сделанные с разных спутников в разное время вольеры питомника «Яшкульский», где в момент съемки находились сайгаки (табл. 1, № 1–3). На всех трех снимках были выявлены объекты, число которых практически соответствовало числу находящихся в вольере сайгаков (по данным сотрудников питомника «Яшкульский», табл. 2). На одном из снимков были произведены промеры сайгаков (здесь и далее промеры представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения, $M \pm SD$, рис. 1а): длина – 0.91 ± 0.18 м, ширина – 0.54 ± 0.13 м, отношение длины тела к ширине – 1.74 ± 0.37 ($n=154$). Полученные промеры позволили нам с уверенностью говорить о том, что разрешение использованных нами спутниковых снимков позволяет выявить на них объекты, размеры которых сопоставимы с размерами сайгака, и эти параметры мы использовали в качестве образцовых при последующей идентификации объектов, отображенных на спутниковых снимках, сделанных на территории заказника «Степной».

Таблица 1.

Характеристики использованных снимков						
№	Спутник	Дата съемки	Время съемки (UTC)	Разрешение (м)	Высота Солнца (градус)	Примечание: Место съемки
1	GeoEye-1 США, DigitalGlobe	27.10.2009	08:05:00	0.5	30.14	Вольер питомника «Яшкульский»
2	Eros-B Израиль, ImageSat International N.V	25.02.2013	10:56:18	0.7	30.25	Вольер питомника «Яшкульский»
3	Plaedies Франция, EADS- Astrium	15.01.2014	08:08:41	0.5	21.3	Вольер питомника «Яшкульский»
4	Eros-B Израиль, ImageSat International N.V	22.11.2012	10:55:05	0.7	17.2	Территория заказника «Степной»
5	Eros-B Израиль, ImageSat International N.V	12.12.2013	10:52:33	0.8	40.49	Территория заказника «Степной»
6	Plaedies Франция, EADS- Astrium	22.03.2014	08:00:59	0.5	43.01	Территория заказника «Степной»

Таблица 2.

Число животных, распознанных на снимках, и реальное число сайгаков в вольере питомника «Яшкульский»

№	Снимок	Дата	Число учтенных (отдешифрованных) сайгаков	Реальное число сайгаков в вольере
1	GeoEye-1	27.10.2009	52	58
2	Eros-B	25.2.2013	143	116
3	Plaedies	15.1.2014	154	153

Как сказано выше, дешифровочными признаками, по которым сайгака можно отличить от других пасущихся в степи животных (овец, лошадей, коров, верблюдов), могут быть цвет животных на снимке, их размеры (длина, ширина и высота) и пропорции, а также форма и структура пасущихся стад.

Цвет животных, отображенных на снимках, в нашем случае, оказался хорошим дешифровочным признаком. Это связано с тем, что для съемки был выбран период, который характеризуется тем, что сайгаки в период с декабря по март время находятся в зимнем белом наряде, который контрастирует с темным (в случае отсутствия снежного покрова) цветом степи. Овцы, близкие к сайгакам по размеру, могут иметь как белый, так и смешанный окрас шерсти, стада овец никогда не состоят их одинаковых по цвету белых животных.

Для определения возможности использования другого дешифровочного признака (длина и ширина животных) в табл. 3 представлены соответствующие размеры сайгака и других копытных, которые могут пастись в тех же местообитаниях, что и сайгаки. Из нее видно, что сайгаки короче и уже, чем коровы и лошади. На снимках изображения сайгаков и овец занимают обычно два пикселя, но с учетом отбрасываемой тени их число может

доходить до четырех, что зависит от угла падения солнечных лучей в момент съемки и угла, под которым произведен снимок спутником. У коров, лошадей и верблюдов число занимаемых пикселей гораздо больше: от 4 до 12.

Таблица 3.

Размеры тела (м) сайгаков и домашнего скота

Животное	Высота	Длина тела	Ширина в груди
Сайгак	0.6-0.8	1.04-1.46	0.4-0.6
Калмыцкая курдючная*	0.75-0.84	0.74-0.83	0.9
Советский меринос*	0.65	0.75	0.95
Каракульская*	0.7-0.75	0.7-0.82	0.97-1.6
Коровы**	1.28-1.52	1.5-2.4	1.7-1.9
Лошади**	1.5-1.8	1.59-2.56	1.75-1.95

* [3], [13]

** [4]

Отношение длины тела сайгака к его ширине составляет не менее 1.0, обычно около 1.5, а у овец, близких по размеру к сайгакам, эта величина не превышает 1.0.

Высота животных на снимке может быть определена по тангенсу угла падения солнечных лучей, что отображается в сопутствующей снимку технической характеристике, и длине тени объекта: сайгаки ниже, чем верблюды, коровы и лошади рис. 1а (врезка).

При анализе расстояния между животными в скоплении и структуры самого скопления отдельных животных на снимке мы принимали за узловые точки, а расстояния между тремя ближайшими особями – за связи между этими точками. Пример такого анализа показан на рис. 1б.

Использование всех описанных выше дешифровочных признаков позволило выявить на трех тестовых спутниковых снимках (табл. 1, № 4–6) не только скопления копытных в степи на территории заказника «Степной», но и отличить сайгаков, в первую очередь, от овец, а также от верблюдов, коров и лошадей на выпасе. Предположения о принадлежности отдешифрованных на спутниковом снимке объектов к тому или иному виду животных по считанным со снимка координатам были подтверждены на местности сотрудниками заказника «Степной», которые в дни съемки отслеживали нахождение, в первую очередь, сайгаков на заданной территории.

Исходя из проведенного тестирования спутниковых снимков высокого разрешения следует, что при идентификации животных оптимально использовать весь набор дешифровочных признаков, а в зависимости от условий съемки – подбирать параметры, которые четче и ярче выражены на снимке, и использовать их сочетание. Так, все указанные выше дешифровочные признаки позволили нам провести идентификацию скоплений животных в степи при разных условиях съемки и с разным набором признаков.

Скопления животных, изображенные на снимке со спутника EROS-B (табл. 1, № 4), были идентифицированы нами как скопления, «состоящие не из сайгаков» (в них, наряду с близкими по размеру сайгакам овцами, входят и другие копытные, отличающиеся по размерам, а также присутствуют животные как белого, так и темного цвета), и они хорошо отличаются от скоплений сайгаков, которые в день съемки были исключительно белого цвета (рис. 2).

При других условиях съемки степи, отличающихся спецификой освещения (снимок EROS-B – табл. 1, № 5), оказалось целесообразным использовать другое сочетание характеристик: а именно размер животных и структуру скопления копытных. Анализ этого снимка показал, что отличительными характеристиками могут быть среднее расстояние между животными в скоплении и структура скопления, выявленная на основе описанных расстояний между животными внутри скопления. Средние расстояния между животными

достоверно отличаются в скоплениях сайгаков (2.84 ± 1.3 м) и отарах овец (2.18 ± 1.51 м), значение критерия $t=6.58$, $p<0.005$.

Таким образом, выявление скоплений сайгаков на снимках степи большой площади было проведено с использованием двух подходов: определение размерных показателей и цвета животных или, если первый подход был недостаточно информативным, всего комплекса дешифровочных признаков.

На снимке территории заказника «Степной» (табл. 1, № 4), который использовали для тестирования возможности выявления сайгаков с помощью определения размерных показателей и цвета животных, было обнаружено 17 скоплений животных: из них 14 были отдешифрированы как скопления сайгаков, а три – «не сайгаков» (одно скопление – отара овец, два – смешанные стада овец и коров или лошадей). Изображения на этом снимке помогли дать характеристику единовременного распределения скоплений животных на большой территории (265.6 км^2), вычислить расстояния между скоплениями и подсчитать число сайгаков в них (в самом малом – 16 особей, в самом крупном – 1657), а также определить координаты скоплений.

С использованием всего описанного выше комплекса дешифровочных признаков на снимке степи (табл. 1, № 6; площадь 226 км^2) было обнаружено 8 скоплений животных, которые состояли исключительно из сайгаков, что было подтверждено проверкой на местности сотрудниками заказника «Степной».

Проведенный анализ снимков позволил не только идентифицировать сайгаков, но и определить характер их поведения в стаде: находятся они в движении или пасутся. Пасущиеся сайгаки на снимке отображены как плотные, сгущенные образования, а те, которые находятся в движении, образуют вытянутые узкие скопления.

Таким образом, дешифрирование спутниковых снимков высокого разрешения, сделанных в зимний период, позволяет единовременно и с высокой степенью точности выявить распределение скоплений сайгака на большой территории. При этом следует использовать весь набор дешифровочных признаков, подбирая параметры, которые четче и ярче выражены на снимке (в зависимости от условий съемки), а также их сочетание. Например, если характер освещения позволяет лучше видеть цвет и размер животных, то именно эти признаки необходимо использовать в качестве основных отличительных характеристик. Если освещение или условия съемки не позволяют четко различить цвет, то правильнее ориентироваться на размер животных в скоплении и на структуру стада, которую характеризуют расстояния между животными.

Полученные результаты могут быть использованы для последующей разработки метода учета численности сайгаков по спутниковым снимкам высокого разрешения. Такой метод имеет минимальную ошибку, потому что при его использовании перемещение животных никак не может отразиться на результатах обработки данных, которые, кроме всего прочего, будут иметь фактическое подтверждение, которым является снимок. Немаловажным фактором является то, что данный метод не наносит никакого ущерба животным. К недостаткам такого метода может быть отнесена невозможность выбора точной даты съемки, определяющая результат съемки (из-за погодных условий).

Использование космических снимков высокого разрешения открывает новые возможности для изучения природных группировок сайгака, их распределения и динамики структуры этого распределения, характера активности стада, а если отдельные животные будут помечены спутниковыми радиопередатчиками, то и для изучения путей миграций отдельных скоплений. При дальнейшей работе и специальном подборе снимков для дешифрирования ключевого соотношения спектров, отображаемых на снимках высокого разрешения, могут быть, в том числе выявлены такие лимитирующие для сайгака факторы, как количество и распределение скота в местах обитания вида, состояние степи и степень ее деградации на различных участках.

Развитие работы в этом направлении, в частности, создание общедоступного интернет-геопортала на основе данных о дистанционном зондировании (в данном случае, применение космических снимков высокого разрешения) позволит самым широким слоям как российских, так и зарубежных граждан (от лиц принимающих решения и ученых-специалистов до студентов и школьников) получать достоверную научно-обоснованную информацию о состоянии сайгака в регионе и о возможных путях сохранения этого уникального вида. Учитывая, что Россия подписала Конвенцию о биологическом разнообразии [5] и Меморандум о взаимопонимании относительно охраны, восстановления и устойчивого использования антилопы сайги, подготовленного в рамках Конвенции по сохранению мигрирующих видов диких животных (Боннская конвенция) (<http://www.saiga-conservation.com/>), взяв, тем самым, на себя ответственность за сохранение, в том числе и сайгака, проведенное исследование и его дальнейшее усовершенствование крайне актуально и социально значимо, а будущий интернет-геопортал будет значительным вкладом России в наполнение Международного ресурсного центра по сайгаку (<http://ru.saigaresourcecentre.com/>).

Работа выполнена при финансовой поддержке Saiga Conservation Alliance/USFWS. Авторы выражают благодарность компании «СКАНЭКС» за предоставленную возможность использования снимков спутника Eros-B и Geo Eye из ресурса компании, А.А. Бобкову за ценные советы и консультации, а также сотрудникам заказника «Степной» Астраханской области и Центра диких животных Республики Калмыкия (питомник «Яшкульский») за помощь при выполнении исследований.

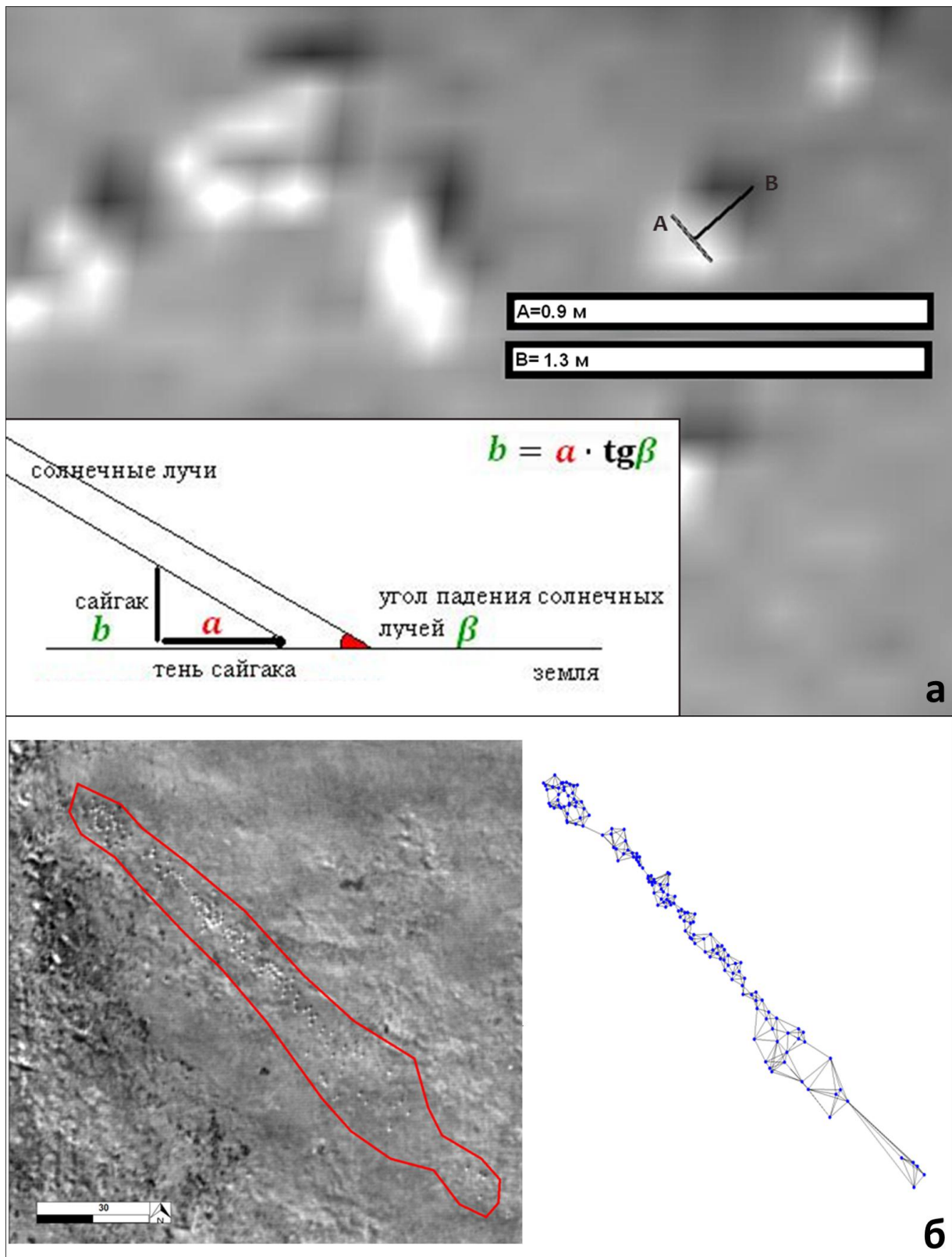


Рис. 1. (а) Промеры сайгака на снимке: А – ширина животного, В – длина животного; врезка – схема по которой рассчитывается высота животного на основании данных снимка; (б) Скопление сайгаков в степи и структура данного скопления, показанная в виде структуры узловых точек и расстояний между ними.

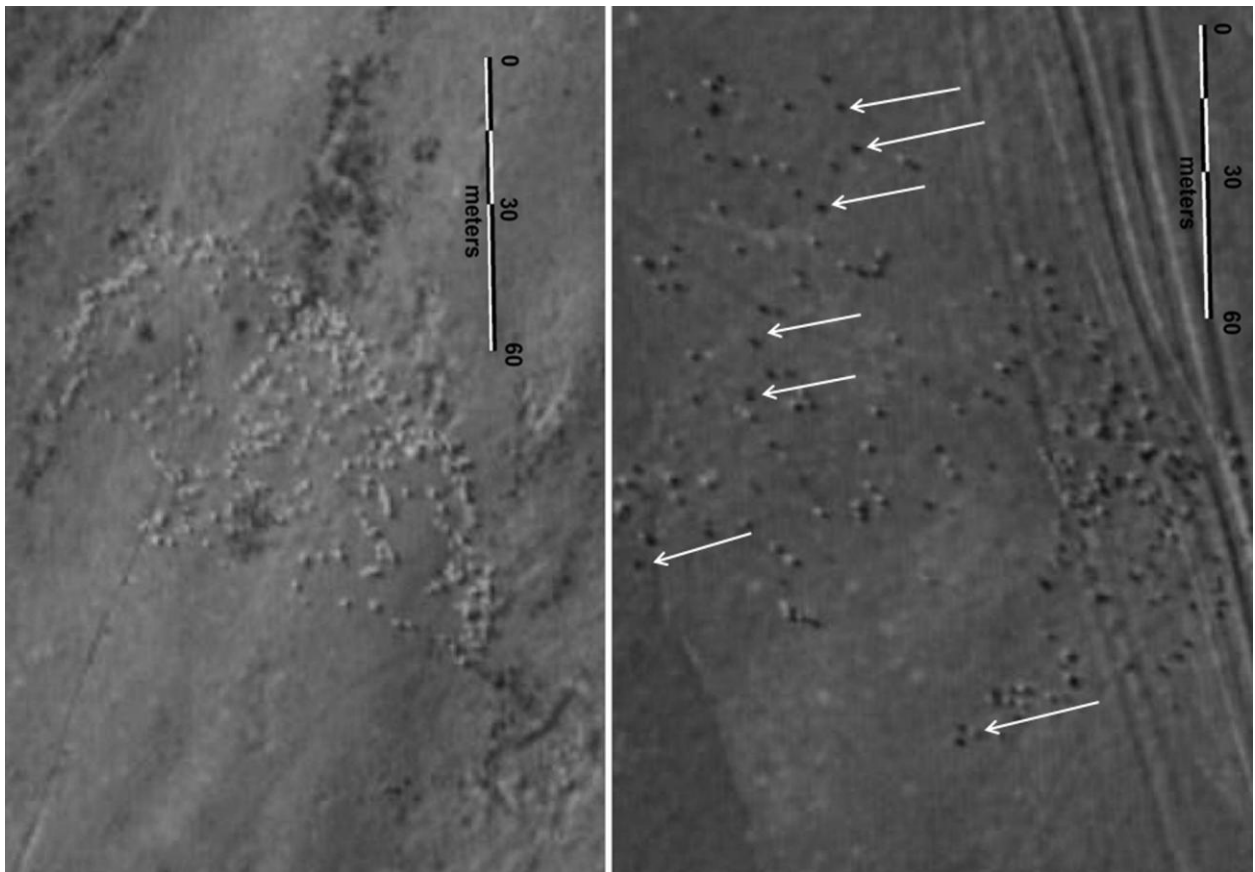


Рис. 2. Слева – скопление сайгаков в степи; справа – смешанное скопление скота (овец и коров), хорошо видны отличия животных по цвету и отличия по степени однородности скопления.

Литература

1. Адольф Т.А. 1952. Количественный учет сайгаков в Астраханских степях. // Методы учета численности и географического распределения наземных позвоночных. М. С. 245-249.
2. Биологические основы учета численности охотничьих животных. Сборник трудов ЦНИЛ Главохоты РСФСР. М., 1990. 156 с.
3. Ерохин А.И., Ерохин С.А., 2004. Овцеводство. М.: Изд-во МГУП. С. 479
4. Кирина Л.И., 1985. Животноводство. М.: Колос. С. 384.
5. Конвенция о биологическом разнообразии. Текст и приложения. 1995. Женева, Швейцария, Секретариат Конвенции. 34 с.
6. Кузякин В.А., Челинцев Н.Г. 2005. Учет охотничьих животных. Учебное пособие. М., Рос. гос. аграрный заочный ун-т, ИПЭЭ РАН. 60 с.
7. Максимук А.В., Хахин Г.В., Петрищев Б.И., Бородин А.Л. 1989. Мониторинг численности сайгака Северо-Западного Прикаспия // Всес. со-вещание по проблеме кадастра и учета животного мира. Часть I. Уфа. С. 285-286.
8. Неронов В.М., Арылова Н.Ю., Дубинин М.Ю., Каримова Т.Ю., Луцкекина А.А. 2013. Современное состояние и перспективы сохранения сайгака в Северо-Западном Прикаспии // Аридные экосистемы. Т. 19. Вып. 2(55). С. 5-14.
9. Платонов Н.Г., Мордвинцев И.Н., Рожнов В.В. 2013. О возможности использования спутниковых изображений высокого разрешения для обнаружения морских млекопитающих // Известия РАН. Серия биологическая. № 2. С. 217-226.
10. Рожнов В.В., Ячменникова А.А., Добрынин Д.В. 2014. О возможности выявления сайгака (*Saiga tatarica*) на спутниковых снимках высокого разрешения // Доклады Академии наук. Т. 459. № 6. С. 769–773.
11. Челинцев Н.Г. 2000. Математические основы учета животных. М. 431с.
12. Челинцев Н.Г. 2001. Биолого-математические основы учета охотничьих животных // Автореф. дисс. докт. биол. наук. М. 139 с.

13. Шайдуллин И.Н., Поточкина Л.И., Фейзуллаев Ф.Р., Баусина В.Л., 2004. Задания и методические указания для лабораторных работ и практических занятий. М.: МГАВМиБ. С. 20.