

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕО- И БИОЭКОЛОГИИ

Л. К. ТРУБИНА

Сибирская государственная геодезическая академия

e-mail: lite@ssga.ru

К. П. КУЦЕНОГИЙ

Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск

e-mail: koutsen@kinetics.nsc.ru

The use of digital photogrammetry and GIS technologies to study the dynamics of aerosol clouds over non-uniform surface and the impact of forest fires on the components of biogeocenoses are considered.

Введение

До недавнего времени сложность реализации фотограмметрических технологий сдерживала их внедрение в практику биоэкологических исследований. Ситуация изменилась с переходом фотограмметрии на цифровые методы съемки и обработки изображений. Цифровые камеры обеспечивают оперативное получение изображений с высоким разрешением, а выполнение основных процессов фотограмметрической обработки на компьютере — высокую степень их автоматизации, а также визуализацию результатов в виде стереомоделей на экране монитора. В целом это расширяет форматы приложений материалов цифровых съемок, особенно в крупных масштабах, которые использовались до сих пор очень ограниченно. Наибольшего эффекта в анализе биообъектов по материалам таких съемок можно достигнуть, применяя стереофотограмметрический метод, при котором сбор данных осуществляется не только по снимкам, но и по стереомоделям. Несомненные преимущества такого подхода заключаются в том, что пространственные по своей природе объекты изучаются по адекватным им трехмерным моделям, обладающим высокими метрическими свойствами.

В данной работе излагаются принципиальные возможности сбора пространственных данных по цифровым стереомоделям для информационного обеспечения многоуровневых исследований биосистем. В качестве примеров, иллюстрирующих возможности фотограмметрических методов, рассматриваются задачи исследований динамики распространения дымовых шлейфов и воздействия лесных пожаров на компоненты биогеоценоза по материалам крупномасштабных наземных цифровых съемок.

1. Развитие информационного обеспечения биоэкологических исследований по стереомоделям

Системный подход к изучению природной среды требует наличия сопряженных пространственных данных о биологических структурах разных иерархических уровней от биоценоза в целом до отдельного организма и его клетки. Это можно достигнуть сбором пространственных данных по материалам следующих видов цифровых стереосъемок: от аэрофотосъемки крупных масштабов, наземной съемки (в том числе с близких расстояний), макросъемки и до микросъемки. *Стереомодели*, формируемые по материалам таких стереосъемок, способны обеспечить всестороннее и детальное изучение разнообразных объектов природной среды.

Классификация съемок для изучения биообъектов, соответствующих разным иерархическим уровням, представлена на рис. 1, где темным фоном выделены те пространственные уровни исследований природной среды, для которых, на наш взгляд, наиболее актуально использование стереофотограмметрических методов.

Представленные в таком контексте материалы съемок, с одной стороны, обеспечивают точное пространственное позиционирование изучаемых объектов, а с другой — высокое пространственное разрешение цифровых снимков делает реальным получение информации о конкретном биообъекте с высокой степенью детальности вплоть до строения его отдельного органа, например крылышка насекомого или рисунка прожилок листа.

В целом такой подход позволит обеспечить пространственно сопряженными данными все иерархические уровни природной среды, тем самым способствуя системному ее изучению. Проиллюстрировать возможности получения пространственно сопряженных данных по материалам разных видов стереосъемок можно на примере растительности: по аэрофотоснимкам получают количественные характеристики о растительных ассоциациях, по наземным снимкам изучают отдельные деревья, по макроснимкам — листья, по микроснимкам — семена и пыльцу.

КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА	БИОСФЕРНЫЙ	1000 м
АЭРОФОТОСЪЕМКА	БИОЦЕНОТИЧЕСКИЙ	100 м
НАЗЕМНАЯ СЪЕМКА	ПОПУЛЯЦИОННО-ВИДОВОЙ	1 м
СЪЕМКА С БЛИЗКИХ РАССТОЯНИЙ	ОРГАНИЗМЕННЫЙ	10 см
МАКРОСЪЕМКА	ОРГАНО-ТКАНЕВОЙ	1 см
МИКРОСЪЕМКА	КЛЕТОЧНЫЙ	10 мкм
Метод съемки	Уровень организации	Пространственное разрешение

Рис. 1. Методы съемок для изучения природной среды.

Конкретизация объектов, надежно идентифицируемых по снимкам разных масштабов, осуществляется в соответствии с уровнем пространственной организации и опирается на базу знаний природоведческих наук.

Рассмотрим изобразительные качества материалов разных видов съемок для изучения конкретных биологических объектов.

Стереомикросъемка отображает строение срезов и структур растений на клеточном уровне, позволяет идентифицировать морфологическое строение клетки.

По материалам *стереомакросъемки* распознается строение органов и тканей отдельной особи или организма, в частности такие структурные элементы отдельного растения, как конфигурация, линейные и относительные размеры листа, а также микроструктура поверхности вегетативных и репродуктивных органов и пр. В основном макросъемка удобна для изучения лабораторных образцов, собранных при обследовании пробных площадок.

Стереосъемка с близких расстояний охватывает отдельные растения в целом, обеспечивая их структурный анализ, в частности определение размеров их частей: стеблей, листьев, плодов, их ориентацию в реальном биоценозе, исследование абиотических компонентов.

Наземная съемка позволяет выделять значения некоторых параметров популяционно-го уровня: разнообразие и относительность обилия видов, оценивать изменения видового состава растений и животных и др. При этом возможны варианты проведения съемки (как с уровня земли, так и с вышек и других приспособлений) в разных ракурсах. Это увеличивает обзорность и обеспечивает определение дополнительных параметров, таких как процент встречаемости, проективное покрытие, численность и др.

По материалам *крупномасштабных аэрофотосъемок* детально идентифицируются структура почвенного и растительного покровов, различные фитоценоотические характеристики.

На каждом информационном уровне по снимкам разных масштабов, обеспечивающих достаточную для исследуемого набора объектов детальность, может решаться целый ряд как научных, так и прикладных задач.

Для реализации предлагаемых подходов разработан ряд адаптированных для конкретных уровней технологий проведения съемок и обработки снимков [1]. Их базовую основу составляют съемки цифровыми съемочными системами, обработка снимков цифровыми фотограмметрическими методами и применение геоинформационных систем. Функциональные возможности геоинформационных систем необходимы для интерпретации, визуализации результатов фотограмметрической обработки и последующего интегрирования их с другой биологической и экологической информацией.

2. Исследование динамики распространения дымовых шлейфов по материалам наземных съемок

При моделировании в природных условиях дымовых струй с различными свойствами примесей одним и тем же источником можно определить ряд важных параметров, влияющих на поведение аэрозольного облака в приземном и пограничном слоях атмосферы, в том числе особенности взаимодействия частиц с подстилающей поверхностью и расположенной на ней растительностью. Такие экспериментальные исследования базируются на применении генератора аэрозолей регулируемой дисперсности (ГРД), который позволяет формировать дымовую струю с разным размером частиц, изменять ее геометрию

в горизонтальном и вертикальном направлениях. Процесс распространения облака, генерируемого ГРД, в реальных природных условиях предлагается фиксировать методом цифровой наземной стереофото съемки. Материалы съемки обеспечивают получение данных для моделирования рельефа и растительности подстилающей поверхности, а также описания траектории движения дымовой струи в приземном слое атмосферы.

Технология проведения работ описана в работе [1]. Выполнена серия опытов по изучению закономерностей распространения искусственных аэрозольных облаков на основе материалов наземных стереосъемок. Эксперименты проводились в разных природных условиях, один из последних — в районе поселка Издревое Новосибирской области. Проведена серия запусков облаков, включающая по пять опытов при разных режимах ГРД в разное время суток, которые фиксировались с интервалом 8 с.

В процессе обработки стереопар построена цифровая модель местности на исследуемый участок и определены геометрические характеристики дымовых шлейфов на каждый момент времени. Цифровая модель рельефа показана на рис. 2, она совмещена с топокартой. Местность по категории рельефа относится к плоскоравнинной, с перепадами высот в пределах 5 м, с максимумом 15 м в долинах рек Иня (на востоке) и Издревая (вдоль участка). К тому же неоднородность участка обуславливалась растительностью, представленной в основном березами со средней высотой 25 м, что хорошо видно на фотосхеме, где показано размещение аппаратуры при проведении эксперимента (рис. 2).

Особенности динамики распространения аэрозольного облака в одном из экспериментов, проведенном на термоконденсационном режиме ГРД утром, видны на рис. 3, а, ко-

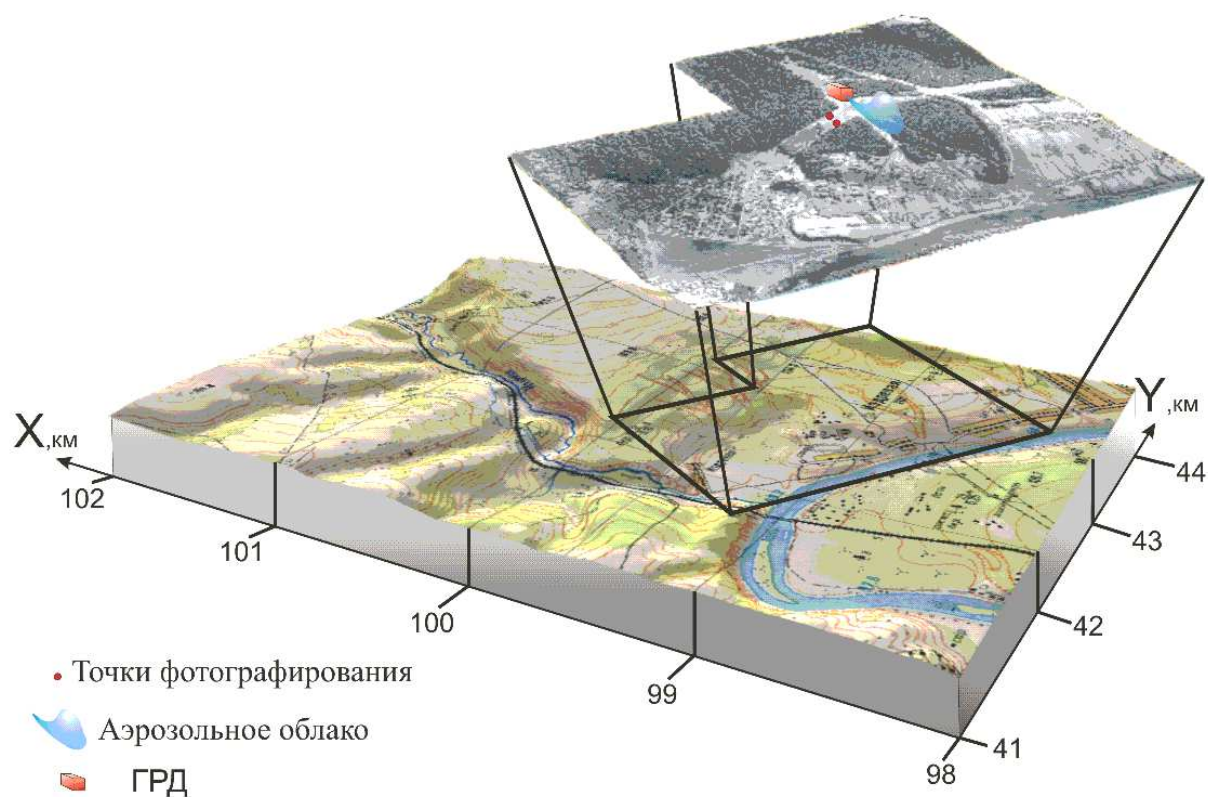


Рис. 2. Участок эксперимента: цифровая модель рельефа, совмещенная с картой, на фотосхеме — размещение аппаратуры.

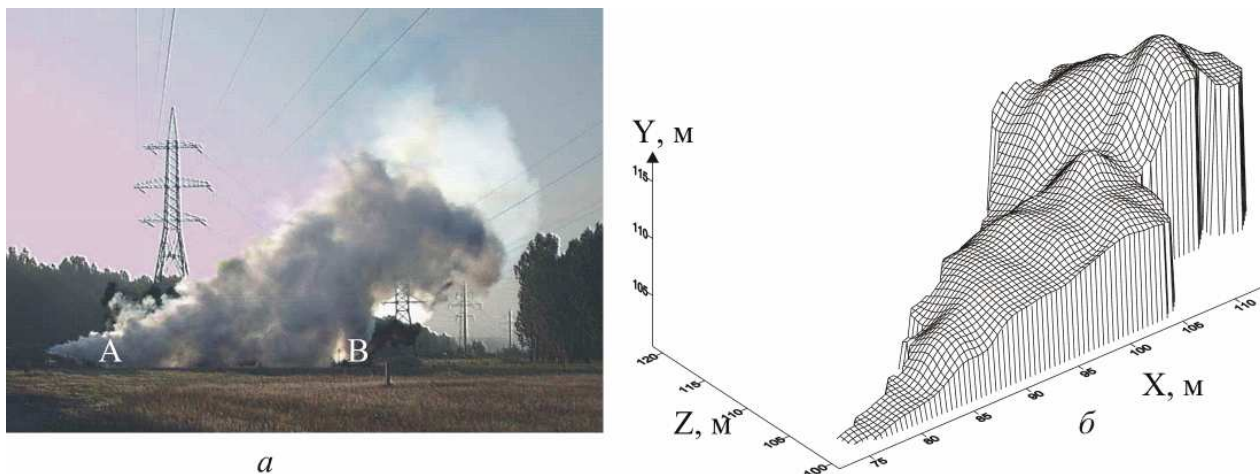


Рис. 3. Пространственно-временное распространение дымового шлейфа: *a* — термоконденсационный режим, утро, совмещены изображения на разные моменты времени, *б* — цифровая модель видимой поверхности облака, восстановленная по первой стереопаре.

торый получен совмещением изображений на разные моменты времени. На изображении хорошо выделяются стадии, определяющие форму дымового облака: участок от среза сопла ГРД до точки А — зона свободной турбулентной струи; на участке от точки В до точки В происходит взаимодействие струи с поверхностью земли; далее точки В струя формируется за счет термической конвекции. По стереопарам цифровых дымовых шлейфов, зафиксированных на каждый момент времени, определены их геометрические размеры и положение в пространстве, восстановлена цифровая модель видимой поверхности дымового шлейфа. Пример для одной из стереопар приведен на рис. 3, б. Проанализированы опыты, проведенные в разное время суток, выявлены существенные различия в динамике распространения дымовых шлейфов [3].

Полученные результаты подтвердили эффективность применения метода цифровой наземной съемки для изучения пространственно-временного изменения геометрии искусственного аэрозольного облака в зависимости от структуры биогеоценоза.

3. Применение крупномасштабных съемок для исследования лесных пожаров и их воздействия на сосняки Средней Сибири

Эффективность исследования проблем, связанных с природой лесных пожаров, повышается с использованием материалов съемок разных масштабов. Различные аспекты применения результатов космических съемок широко представлены в научной литературе [3]. При полигонном моделировании поведения пожаров разной интенсивности в средне- и южно-таежных сосняках Средней Сибири [4, 5] применялись цифровые стереосъемки крупных масштабов для сбора детальных сведений о состоянии растительного и почвенного покровов. Фотографирование выполнялось с 25 точек, равномерно распределенных по каждому из экспериментальных участков (размером 200×200 м) как до контролируемого выжигания, так и в последующие годы. По полученным снимкам сформированы фотопанорамы, пример одной из них показан на рис. 4.

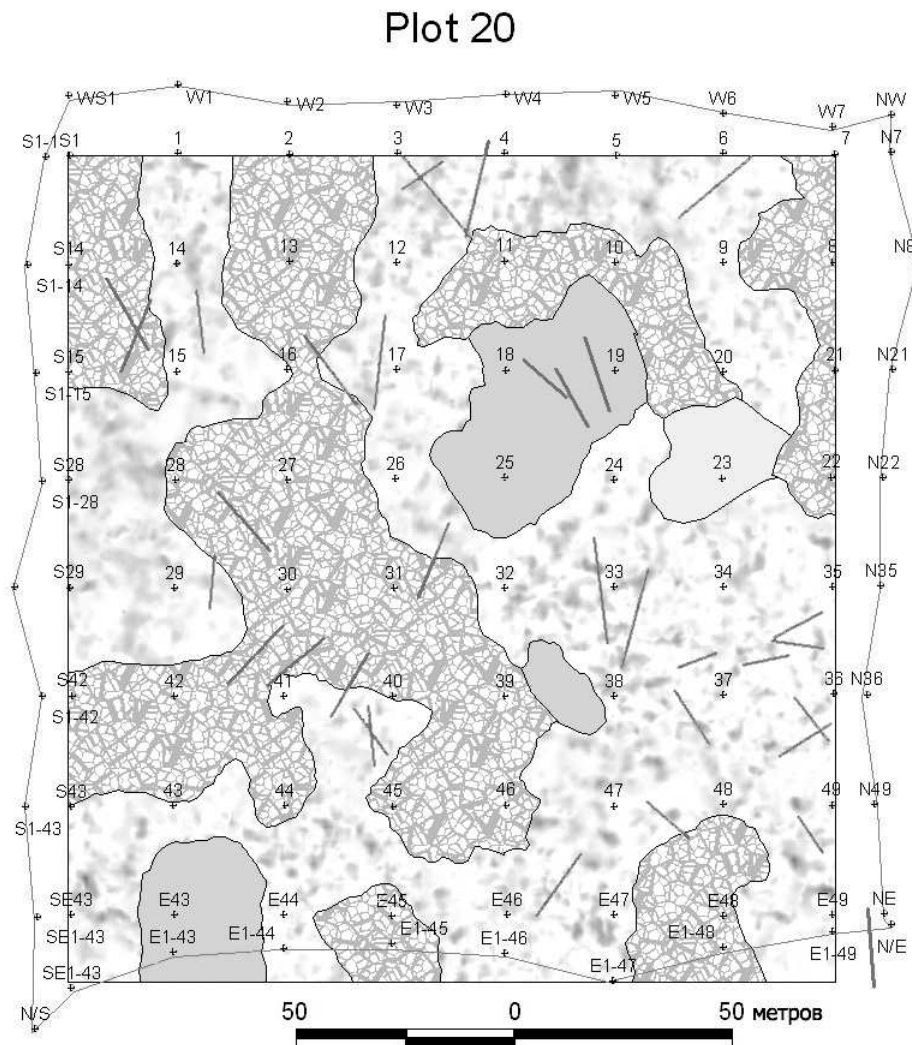


Рис. 4. Фотопанорамы экспериментального участка до выжигания и через два года после пожара (южнотаежный сосняк), в центре увеличенные фрагменты панорам.

Для каждой из восьми экспериментальных площадок по результатам геодезических измерений созданы цифровые модели рельефа средствами компьютерной программы Surfer. По стереопарам сформированы стереомодели, которые возможно рассматривать на экране монитора через анаглифические очки. Стереомодели отражают сфотографированные объекты в состоянии, близком к реальному их виду, и поэтому могут служить объективным документом о состоянии растительности до пожара. Кроме того, фотограмметрическая обработка стереопар позволяет получать количественные характеристики отдельных частей растений, например площадь листьев. Для определения проективного покрытия разных видов предложена методика расчета по цифровым крупномасштабным снимкам средствами ERDAS Imagine, которая основана на классификации исходного изображения по фототону [6].

С применением предложенной методики обработаны крупномасштабные изображения (25 снимков) на один из экспериментальных участков, в результате построено тематическое изображение распределения растительности по территории участка (рис. 5). С правой стороны рисунка показана шкала цветовых градаций для отображения проективного покрытия мха в процентах от общей площади.

Применение цифровых крупномасштабных снимков при моделировании лесных пожаров позволяет дополнить такие исследования детальными сведениями о растительном покрове. При этом цифровые изображения имеют исключительное значение для сохранения информации о состоянии местности до проведения пожара. Стереомодели, формируемые по стереопарам, обеспечивая объемное представление, позволяют получать пространственные характеристики сфотографированных объектов. Результирующая информация в виде



Растительный покров:







-  кустарник (*Vaccinium vitis-idaea*)-мох (*Pleurozium schreberi*)
-  кустарник (*Vaccinium vitis-idaea*)-лишайник (*Cladonia*)
-  лишайник (*Cladonia*)
-  лишайник (*Cladonia*)-мох (*Pleurozium schreberi*)
- * закрепленные на местности точки
-  граница выжигаемого участка
-  упавшие деревья

Рис. 5. Схема распределения растительности, где 1 — лишайник, 2 — мхи.

цифровой модели рельефа и новых тематических изображений может импортироваться в другие программные продукты для комплексного анализа разных факторов.

Для дальнейшего анализа сформированное тематическое изображение может быть наложено на цифровую модель рельефа, результат такого совмещения показан на рис. 6.

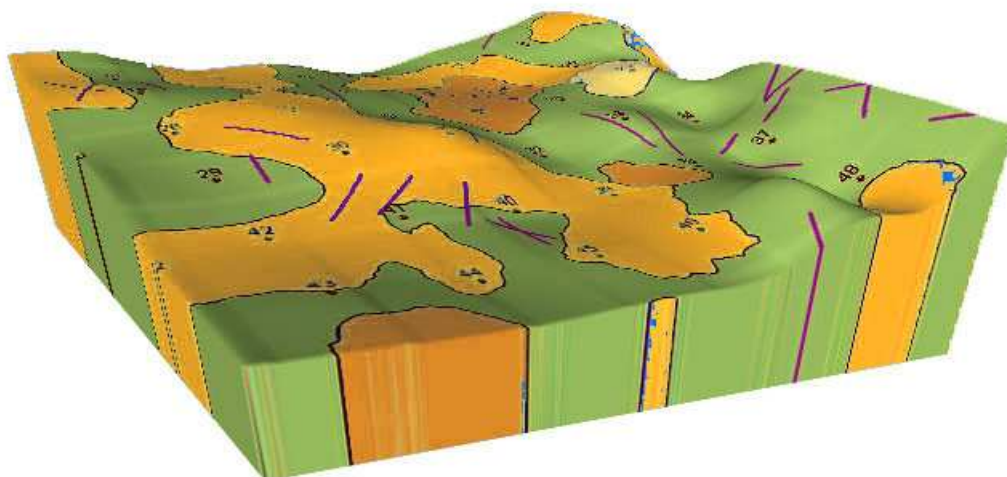


Рис. 6. Совмещение проективного покрытия мхов с цифровой моделью рельефа на экспериментальном участке в среднетаежном сосняке.

Разработанные технологии сбора пространственных данных по материалам цифровых стереосъемок разных масштабов могут найти применение в междисциплинарных исследованиях в области биологии, экологии, медицины, охраны окружающей среды и др.

Список литературы

- [1] ТРУБИНА Л.К. Стереомодели в изучении биологических объектов. Новосибирск: СГГА, 2006. 136 с.
- [2] ТРУБИНА Л.К., КУЦЕНОГИЙ К.П. Комплексный мониторинг атмосферных аэрозолей Сибири // Матер. Первой Междунар. научн-техн. выставки-конгресса "ГЕО-Сибирь-2005". Новосибирск: СГГА, 2005. Т. 5. С. 9–18.
- [3] СПУТНИКОВЫЙ мониторинг лесных пожаров в России. Итоги, проблемы, перспективы — Satellite Monitoring of Forest fires in Russia: Аналит. обзор / СО РАН. ИОА. ГПНТБ / Под ред. В.В. Белова. Новосибирск, 2003. 135 с.
- [4] ИВАНОВА Г.А. Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках Средней Сибири: Дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск, 2005. 368 с.
- [5] MCRAE D.J., JIN J-Z., CONARD S.G. ET AL. Infrared characterization of fine-scale variability in behavior of boreal forest fires // Can. J. of Forest Research. 2005. Vol. 35, N. 9. P. 2194–2206.
- [6] ТРУБИНА Л.К., КЛИМАШИН А.М., ИВАНОВА Г.А., КУЦЕНОГИЙ К.П. Исследование воздействия пожаров на лесные экосистемы по материалам крупномасштабных цифровых съемок // Матер. Первой Междунар. научн-техн. выставки-конгресса "ГЕО-Сибирь-2005". Новосибирск: СГГА, 2006. Т. 2. С. 249–252.

Поступила в редакцию 9 ноября 2006 г.