



## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОТОМОНИТОРИНГ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

**В. В. ФОМИН,**

**доктор биологических наук, доцент, Уральский государственный лесотехнический университет**

(620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37; e-mail: fomval@gmail.com, anna.mikhailovich@gmail.com),

**А. П. МИХАЙЛОВИЧ,**

**старший преподаватель,**

**Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина**

(620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19)

*Ключевые слова:* естественные и антропогенные ландшафты, наземные изображения, экологический фотомониторинг, Средний Урал.

Разработан подход к созданию системы наземного экологического фотомониторинга, а также ряд методик сбора, обработки и анализа изображений в компьютерной автоматизированной системе. Создан прототип Интернет-ориентированной информационной системы, обеспечивающей хранение и представлений наземных изображений и карт, а также доступ широкого круга пользователей сети Интернет к исходным данным и результатам исследований. Предложен подход к созданию системы наземного экологического фотомониторинга, а также ряд методик сбора, обработки, анализа наземных изображений. В основе лежит способ установления взаимосвязи между наземными изображениями и фрагментом карты (фрагментами геоинформационных слоев). Предлагаемый подход к анализу наземных изображений и представлению информации о них в виде тематических слоев позволяет развивать перспективное направление картосемiotики, связанное с формированием системы картографических условных знаков для отображения на карте изменений, установленных в ходе сравнительного анализа повторных фотографий, выполненных с одних и тех же точек фотосъемки. Для доступа пользователей к наземным изображениям и результатам анализа создан прототип Интернет-ориентированной информационной системы. Она обеспечивает хранение и представлений наземных изображений и карт. Сформулирован подход к созданию к представлению на карте объектов и характеристик процессов (в условной, знаковой форме), полученных в результате анализа наземных изображений, а также аннотированию наземных изображений или их фрагментов с использованием данных тематических геоинформационных слоев.

## ECOLOGICAL PHOTO-MONITORING OF NATURAL AND ANRTHROPOGENIC LAND SCAPES

**V. V. FOMIN,**

**doctor of biological sciences, associate professor, Ural state forestry university**

(620100, Ekaterinburg, Sibirskij trakt st., 37; e-mail: fomval@gmail.com, anna.mikhailovich@gmail.com),

**A. P. MIKHAILOVICH,**

**senior lecturer, Ural federal university of the first President of Russia Boris Yeltsin**

(620002, Ekaterinburg, Mira st., 19)

*Keywords:* natural and anthropogenic landscapes, land images, ecological photo-monitoring, the Middle Urals.

The approach is designed to create a system of ecological photo-monitoring using ground-based photos, and also a number of methods of collection, processing, analysis of images in a computer automated system. A prototype of Internet-aware information system providing storage and representations of images and maps, as well as access to data and results of investigation for users with a wide range of specializations and qualifications is developed. An approach to the creation of a system of land ecological photo-monitoring, as well as a number of methods of data collection, processing, analysis of ground images is offered. The basis is the way to establish the relationship between land-based images and maps of the fragment (fragments of GIS layers). The proposed approach to the analysis of ground-based images, and report on them in the form of thematic layers allows us to develop a promising direction map-semiotics associated with the production of cartographic symbols to display on a map the changes set out in the course of a comparative analysis of repeated photographs taken from the same point shooting. For user access to terrestrial images and results of the analysis the prototype of Internet-oriented information system is created. It provides storage and submission of ground-based images and maps. It is formulated approach to the representation of objects on the map and characteristics of processes (in symbolic form) derived from the analysis of ground-based images and thematic GIS data layers.

*Положительная рецензия представлена В. И. Крюк, доктором технических наук, профессоом кафедры лесных культур и биофизики Уральского государственного лесотехнического университета.*



В районе исследований — на территории, прилегающей к Первоуральско-Ревдинскому промышленному узлу (Свердловская область, Россия) с середины девяностых годов XX века проводятся комплексные исследования влияния естественных и антропогенных факторов на древесную растительность [1–6]. В ходе выполнения ряда научных проектов в данном районе была создана система экологического мониторинга, состоящая из сети постоянных пробных площадей, заложенных в сосновых древостоях. Лесные насаждения, произрастающие на данных участках, находятся под воздействием экологических факторов разной природы и силы.

На основе данных прямых измерений биометрических параметров деревьев на 119 пробных площадях была создана поверхность, характеризующая общие закономерности изменения состояния древостоев в пространстве на всей исследуемой территории [1–5]. С использованием космических снимков высокого пространственного разрешения были выделены селитебные и промышленные зоны, включая объекты линейно-транспортной системы и земли сельскохозяйственного пользования [7]. Эти данные в сочетании с полученными ранее растровыми и векторными слоями, характеризующими состояние лесных насаждений района исследований, позволили получить детализированное представление о состоянии окружающей среды на территории, прилегающей к Первоуральско-Ревдинскому промышленному узлу.

Современный уровень развития информационных технологий, позволяющий автоматизировать этапы получения, геопривязки, обработки, анализа, хранения и представления наземных аналоговых и цифровых изображений, открывают возможности для широкого использования повторных фотографий в системах экологического мониторинга.

Метод наземного фотографического мониторинга (МНФМ) для пейзажных фотографий был разработан профессором С. Финстервалдером (S. Finsterwalder) в конце XIX века. Начиная с 1888 г., он фотографировал и наносил на карту ледниковые изменения в восточных Альпах (Hall, 2001). В основе данного метода лежит сравнение ранее сделанной фотографии с тем, что наблюдается на местности, или сравнение двух и более фотографий, полученных в разное время с одной и той же точки фотосъемки.

Успешный опыт использования исторических ландшафтных фотографий в исследованиях климатогенной пространственно-временной динамики верхней границы леса на Полярном, Северном и Южном Урале свидетельствует о высоком потенциале наземных изображений, как источника данных для решения ряда задач области дендро- и ландшафтной экологии [5, 10–13].

**Цель работы** — разработка принципов создания системы наземного фотоэкологического мониторинга с использованием наземных аналоговых фотографий и цифровых изображений на примере конкретного района исследований — территории, прилегающей к Первоуральско-Ревдинскому промышленному узлу.

#### Результаты исследований.

На рис. 1 приведена картосхема исследуемого района. Черными треугольниками обозначено местоположение пробных площадей, на которых была проведена комплексная оценка состояния древосто-

ев. Серо-черными квадратами отмечены точки, на которых была произведена обзорная ландшафтная фотосъемка. С каждой наземной фотографией ассоциирован набор пространственных характеристик: географические координаты точки фотосъемки и угол, характеризующий направление оптической оси фотоаппарата в горизонтальной плоскости. В дальнейшем этот набор данных может быть дополнен значением угла, характеризующего направление оптической оси в вертикальной плоскости.

В ходе исследований был разработан оригинальный подход к обработке, анализу и представлению наземных фотографий и пространственных данных (растровых и векторных геоинформационных слоев). На первом этапе анализа для каждой фотографии рассчитываются секторы видимости фрагментов местности из точек фотосъемки. Определение границ и конфигурации участков, которые видны в данном секторе, производится в геоинформационной системе с использованием функций анализа видимости на основе данных о местоположении точки фотосъемки и цифровой модели рельефа [14]. В ходе второго этапа анализа проводится соотнесение фрагментов области видимости и фрагментов наземной фотографии (рис. 2). Изображение может сегментироваться вручную на ближний, средний и дальний планы в соответствии областями видимости векторного слоя. В качестве характерного объекта для выделения планов на изображении используются отдельные деревья и древостои. Ближнему плану, соответствует расстояние от точки фотосъемки до 200 м от точки фотосъемки. Средний план — 200–700 м, Дальний план — свыше 700 м.

Установление взаимосвязи между участками на карте и фрагментами наземном изображении открывают возможности для повышения эффективности поиска фотографий в информационных системах, так как в этом случае изображения могут автоматизированно геотегироваться — данные на участке растрового или векторного слоя могут быть сопоставлены с наземным изображением или его фрагментом. Таким образом, изображение или его фрагмент ассоциирован со значением или текстовым описанием, содержащимся в атрибутивной таблице геоинформационного слоя. Кроме того, на основе этой взаимосвязи становится возможным перенос информации с изображения на карту, то есть существующие геоинформационные слои и электронные карты могут пополняться новыми данными, а также создаваться новые тематические слои, содержащие как описательную информацию, так и количественные характеристики изображений, полученных в автоматизированной системе. Такой подход открывает широкие перспективы для формирования новой системы картографических условных знаков, созданных на основе данных, характеризующих изображения, ассоциированные с картой, описанным выше способом.

Возможность получения повторных фотографий с одной и той же точки фотосъемки с проведением сравнительного анализа изменений объектов, представленных на них, позволяют оценить динамику процессов, происходящих на земной поверхности с последующим отображением этих изменений на карте в виде системы специально созданных условных



знаков. Предлагаемый подход к анализу наземных изображений и представлению информации о них в виде тематических слоев и карт является перспективным направлением картосемиотики, недостаточно проработанным в настоящее время.

Разработка системы условных знаков, характеризующих элементы ландшафта и их динамику во времени с точки зрения ландшафтной экологии и дендроэкологии, на основе анализа наземных изображений является одним из необходимых компонентов системы наземного экологического фотомониторинга.

Кроме наземных изображений ландшафтов система экологического фотомониторинга может быть дополнена фотографиями конкретных объектов, например, отдельных деревьев, древостоев и живого почвенного покрова на пробных площадях, входящих в ранее созданную систему экологического мониторинга. На рис. 3 приведены изображения, полученные

в результате обработки изображения кроны отдельно стоящего дерева в ранее разработанном программном модуле, предназначенном для оценки состояния деревьев по степени дефолиации кроны [15]. Несмотря на то, что данная методика оценки состояния деревьев имеет ряд ограничений, связанных с выбором деревьев и условиям проведения фотосъемки, она была успешно апробирована для оценки состояния сосновых деревьев, произрастающих в зонах с разными уровнями загрязнения атмосферы промышленными выбросами [3]. Рис. 4 иллюстрирует возможность получения количественных характеристик исследуемого объекта, в данном случае, древесного листа, по его фотографии в автоматизированной системе анализа изображений.

Методики выделения характерных паттернов и структур, а также получение значений параметров, количественно их характеризующих, с использованием макро- и микроизображений широко исполь-

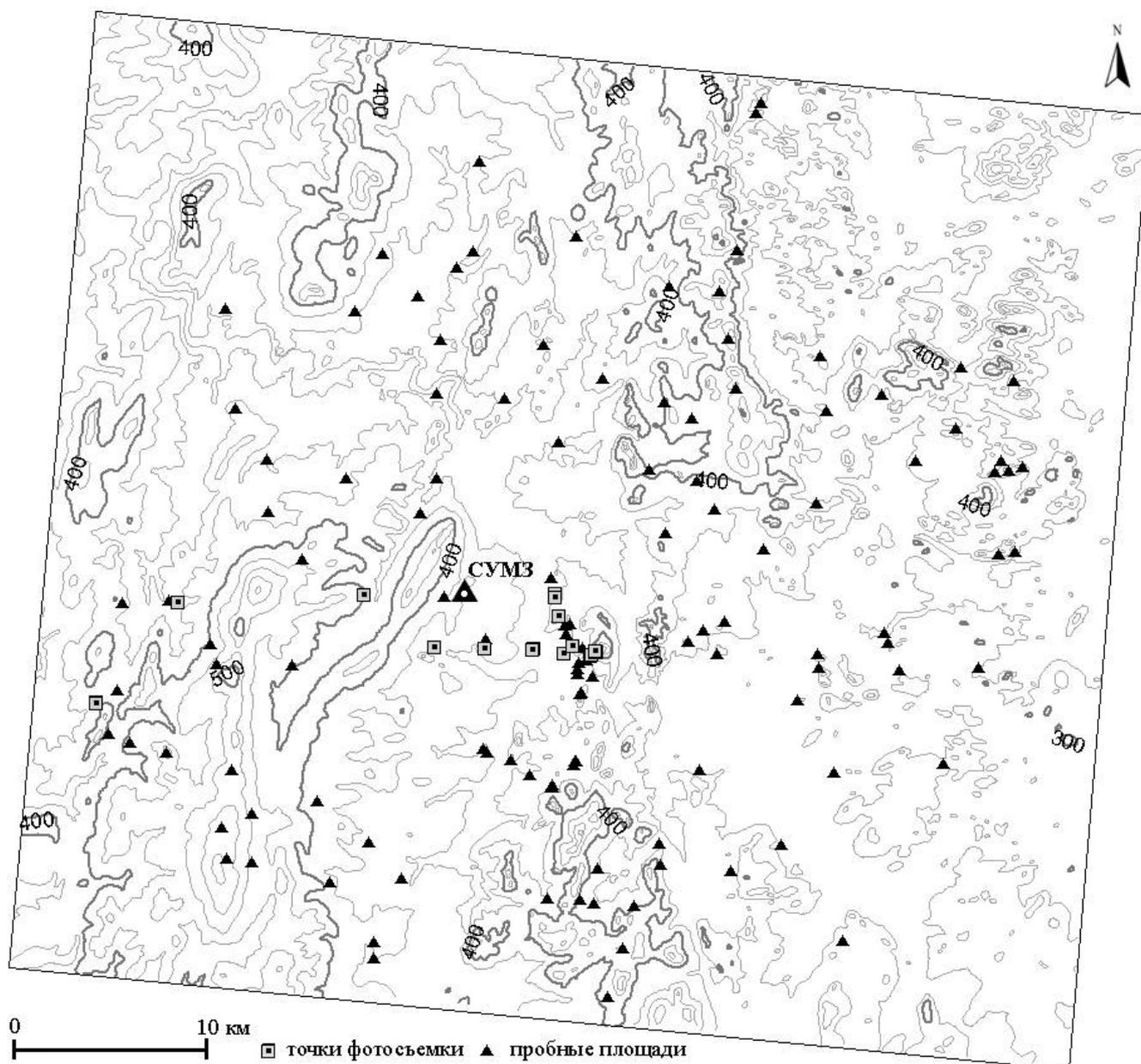


Рисунок 1

Картограмма района исследований. Черными треугольниками обозначено местоположение пробных площадей, на которых была проведена комплексная оценка состояния древостоев, серо-черными квадратами — точки, с которых производилась обзорная ландшафтная фотосъемка

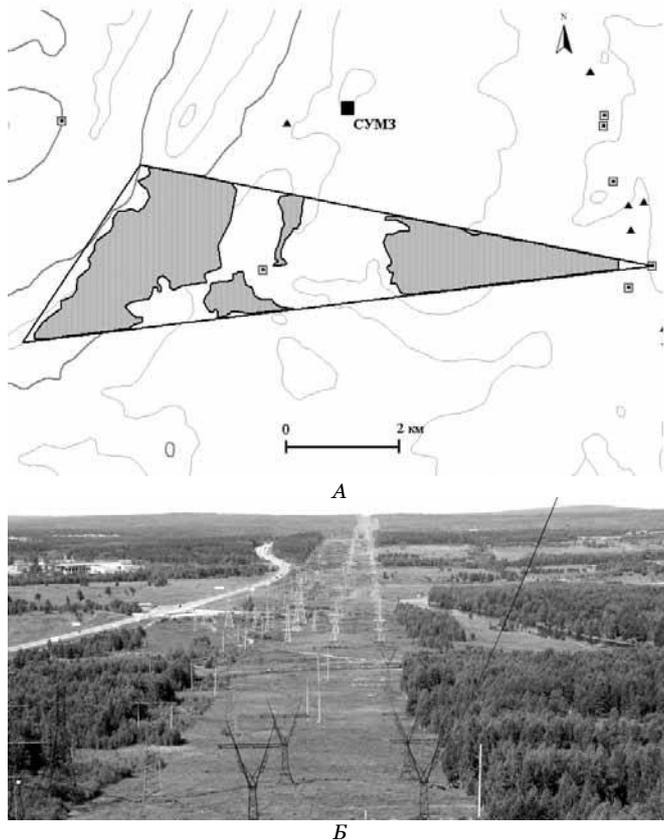


Рисунок 2  
Результаты выделения областей видимости на карте (А), соответствующих участкам местности, которые видны на наземном изображении (Б)

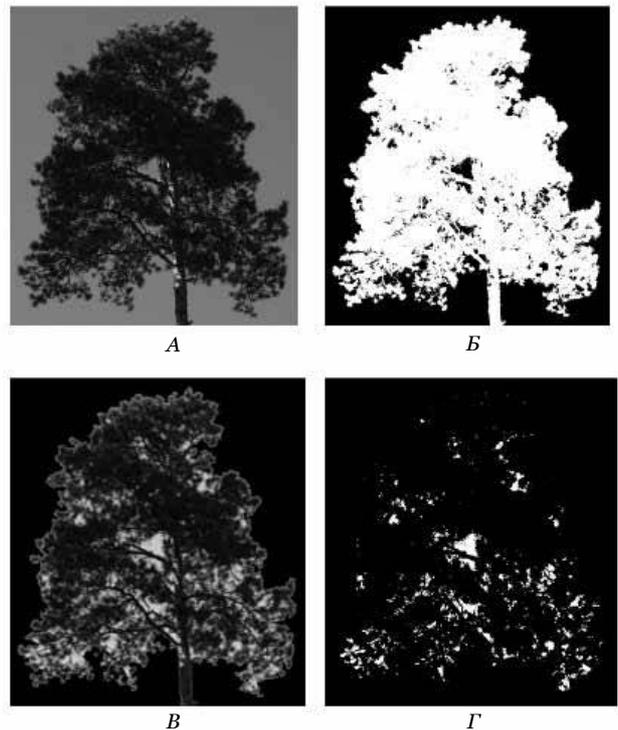


Рисунок 3  
Пример обработки цифрового изображения кроны дерева в автоматизированной системе анализа изображений. А – исходное изображение; Б – бинарное изображение, полученное в результате использования пороговой сегментации по интенсивности. Д – полутоновое изображение, предназначенное для выделения просветов в кроне; Г – бинарное изображение просветов в кроне

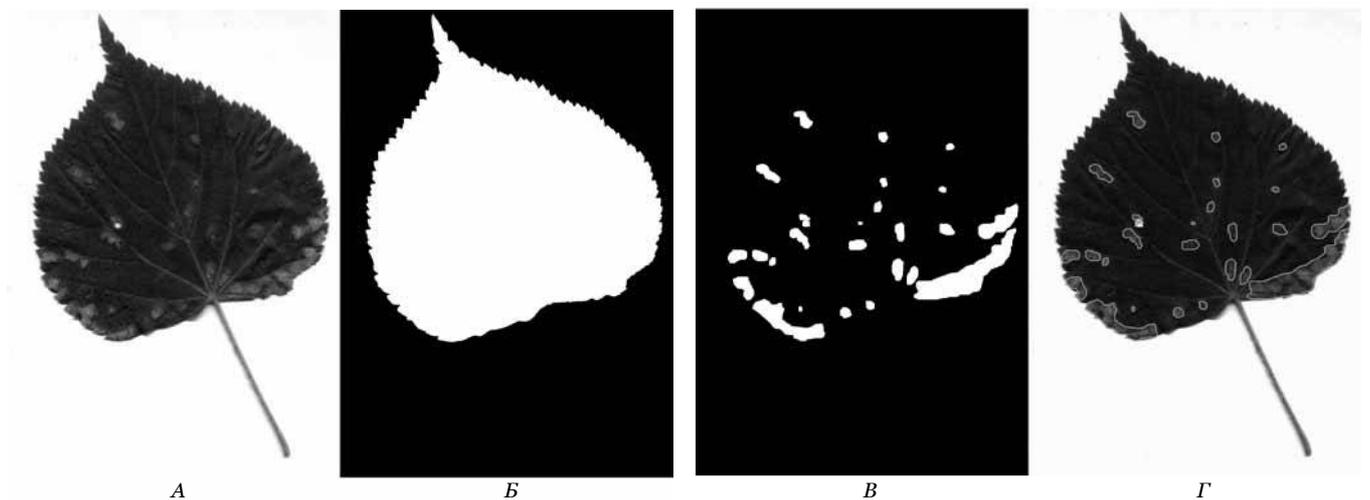


Рисунок 4  
Пример обработки цифрового изображения древесного листа в автоматизированной системе анализа изображений. А – исходное изображение; Б – бинарное изображение силуэта листа без черешка, полученное в результате использования пороговой сегментации по величине интенсивности. Д – бинарное изображение поврежденных участков; Г – исходное изображение с наложенной на него маской контуров поврежденных участков

зуются в различных научных областях, в том числе в экологии. Однако, включение как уже существующих, так и вновь разрабатываемых методик оценки состояния биологических объектов по их макроизображениям и самих изображений может рассматриваться как часть системы наземного экологического фотомониторинга.

Необходимым завершающим элементом системы НЭФМ является разработка Интернет-ориентированной системы, обеспечивающей хранение и представление изображений и карт для широкого круга пользователей сети Интернет. В настоящее время авторы участвуют в разработке прототипа такой информационной системы photolandscape.org, созданной

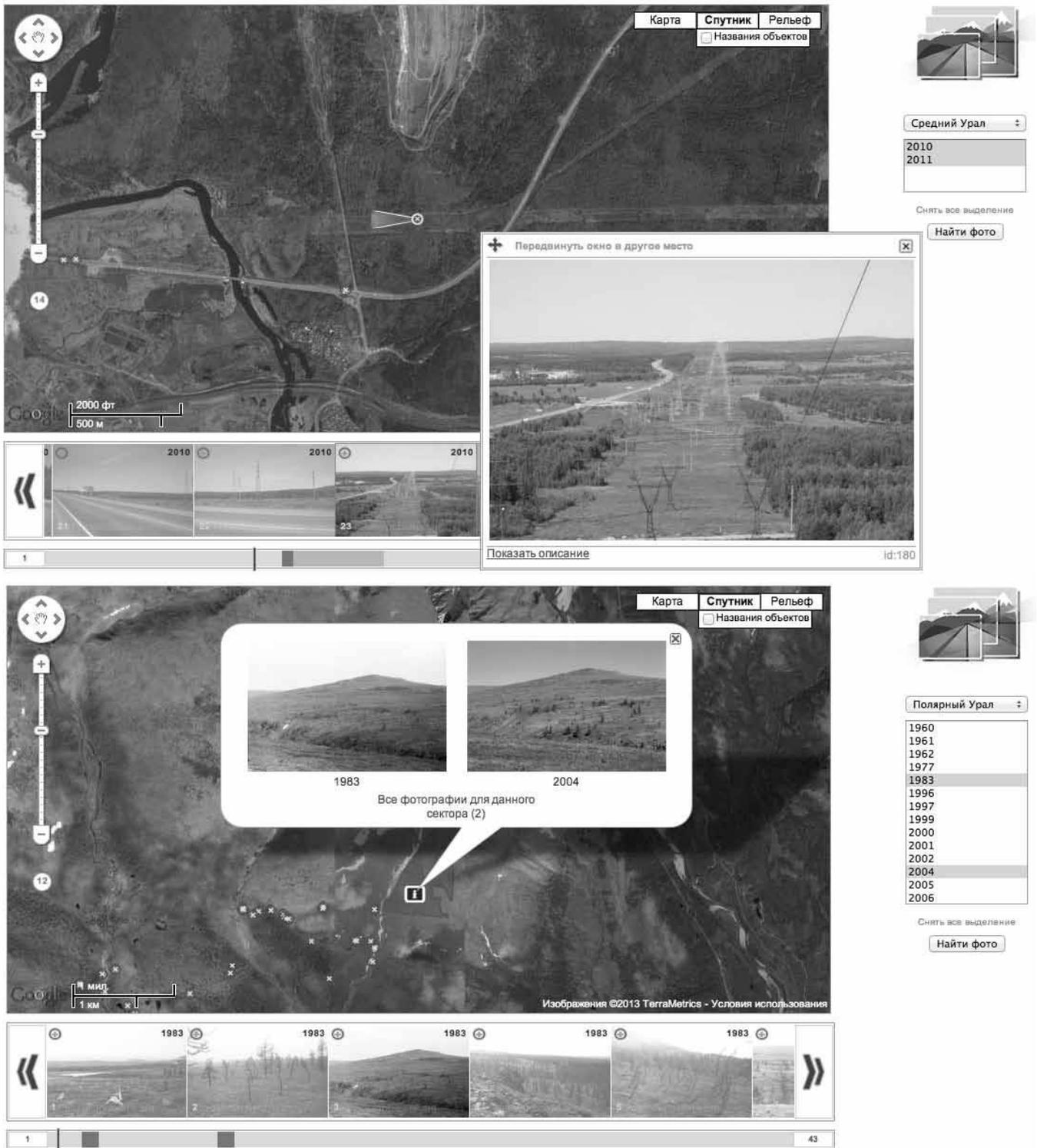


Рисунок 5

Фотографии экранов прототипа Интернет-ориентированной информационной системы photolandscape.org для работы с данными в районе исследований на Среднем Урале (А) и Полярном Урале (Б). Фотографии на Среднем Урале сделаны В. В. Фоминим и А. П. Михайлович, на Полярном Урале – С. Г. Шиятовым

на базе программ, разработанных ООО Передовые сервисы и технологии, Екатеринбург: NeoGeograph ([www.neogeograph.com](http://www.neogeograph.com)) и GeoSSM [14]. Информационная система photolandscape.org находится в режиме закрытого тестирования. На рис. 5 приведены изображения элементов интерфейса для управления и представления изображений и карт для двух районов исследований, на которых проводится апробация методик в рамках разрабатываемого подхода.

Исторические ландшафтные фотографии для района исследований, расположенного на Полярном Урале сделаны профессором С. Г. Шиятовым (Институт экологии растений и животных УрО РАН). В районе исследований на Среднем Урале наземные фотографии получены авторами.

**Выводы.**

Предложен подход к созданию системы наземного экологического фотомониторинга, а также ряд



методик сбора, обработки, анализа наземных изображений. В ее основе лежит способ установления взаимосвязи между наземными изображениями и фрагментом карты (фрагментами геоинформационных слоев). Предлагаемый подход к анализу наземных изображений и представлению информации о них в виде тематических слоев позволяет развивать перспективное направление картосемиотики, связанное с формированием системы картографических условных знаков для отображения на карте изменений, установленных в ходе сравнительного анализа повторных фотографий, выполненных с одних и тех же точек фотосъемки.

*Работа выполнена благодаря финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (№ 5.530.2011) и грантов РФФИ № 11-04-12114.*

Для доступа пользователей к наземным изображениям и результатам анализа создан прототип Интернет-ориентированной информационной системы. Она обеспечивает хранение и представлений наземных изображений и карт.

Авторы выражают благодарность доктору биологических наук, профессору С. Г. Шиятову за предоставленные ландшафтные фотографии Полярного Урала, а также кандидату сельскохозяйственных наук Д. С. Капралову — разработчику web-интерфейса информационной системы photolandscapes.org за помощь в подготовке материалов для данной статьи.

### Литература

1. Фомин В. В., Шавнин С. А. Экологическое зонирование лесов в районах действия атмосферных промышленных загрязнений // Экология. 2001. № 2. С. 104–108.
2. Фомин В. В., Шавнин С. А. Влияние горного рельефа местности и агропромышленных загрязнений на биометрические характеристики сосновых древостоев // Экология. 2002. № 3. С. 170–174.
3. Фомин В. В., Попов А. С., Низаметдинов Н. Ф., Шалаумова Ю. В., Шавнин С. А. Морфологическая и автоматизированная оценка состояния сосновых древостоев в зоне действия атмосферных промышленных загрязнений // Лесной вестник. 2007. № 4. С. 75–79.
5. Фомин В. В. Климатогенная и антропогенная пространственно-временная динамика древесной растительности во второй половине XX века. Екатеринбург : ИЭРиЖ УрО РАН, 2009. 150 с.
6. Фомин В. В., Николаев А. А. Экологическая оценка территории в зоне действия медеплавильного производства // Аграрный вестник Урала. 2011. № 4 (83). С. 18–20.
7. Фомин В. В. Экологическое картирование территории в условиях антропогенных воздействий разной природы и силы // Аграрный вестник Урала. 2012. № 12 (104). С. 7–8.
8. Dahdouh-Guebas F. Long-term retrospection on mangrove development using transdisciplinary approaches : A review. F. Dahdouh-Guebas, N. Koedam // Aquatic Botany 2008. Vol. 89. P. 80–92.
9. Hall F. C. Ground-Based Photographic Monitoring. F. C. Hall General Technical Report PNW-GRT-503 U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, 2001. С. 1–40.
10. Шиятов С. Г., Терентьев М. М., Фомин В. В. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале // Экология. 2005. № 2. С. 1–8.
11. Шиятов С. Г., Терентьев М. М., Фомин В. В., Циммерманн Н. Е. Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на Полярном Урале // Экология. 2007. № 4. С. 243–248.
12. Капралов Д. С., Шиятов С. Г., Моисеев П. А., Фомин В. В. Изменения в составе, структуре и высотном положении мелколесий на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала // Экология. 2006. № 6. С. 403–409.
13. Фомин В. В., Капралов Д. С., Терентьев М. М., Барова А. А., Устинов А. В., Циммерманн Н. Е. Пространственно-временная динамика верхней границы леса на Южном Урале во второй половине XX века // Геоинформатика. 2007. № 1. С. 56–61.
14. Фомин В. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010612715 от 21 апреля 2010 г. «Сегментация геопространства по наземным геоизображениям — Geoimage Spatial Segmentation Model (GeoSSM)».
15. Фомин В. В., Михайлович А. П., Попов А. С., Низаметдинов Н. Ф., Шалаумова Ю. В. Метрологические аспекты анализа изображений // Измерительная техника. 2008. № 2. С. 25–28.

### References

1. Fomin V. V., Shavnin S. A. Ecological zoning of forests in the regions affected by atmospheric industrial pollution // Ecology. 2001. № 2. P. 104–108.
2. Fomin V. V., Shavnin S. A. The influence of mountain terrain and air-industrial pollution on biometrics pine stands // Ecology. 2002. № 3. P. 170–174.
3. Fomin V. V., Popov A. S., Nizametdinov N. F., Shalaumova Yu. V., Shavnin S. A. Morphophysiological and automated assessment of pine stands in the area of the industrial atmospheric pollution // Journal of Forestry. 2007. № 4. P. 75–79.
5. Fomin V. V. Climatogenic and anthropogenic spatial-temporal dynamics of woody vegetation in the second half of the XX century. Ekaterinburg : IPAE UB RAS, 2009. 150 p.
6. Fomin V. V., Nikolaev A. A. Environmental assessment area in the production zone of copper // Journal of Agricultural Urals. 2011. № 4 (83). P. 18–20.
7. Fomin V. V. Ecological mapping areas under anthropogenic impacts of different nature and strength // Journal of Agricultural Urals. 2012. № 12 (104). P. 7–8.
8. Dahdouh-Guebas F. Long-term retrospection on mangrove development using transdisciplinary approaches : A review. F. Dahdouh-Guebas, N. Koedam // Aquatic Botany in 2008. Vol. 89. P. 80–92.
9. Hall F. C. Ground-Based Photographic Monitoring. F. C. Hall General Technical Report PNW-GRT-503 U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, 2001. P. 1–40.
10. Shiyatov S. G., Terentev M. M., Fomin V. V. Spatial-temporal dynamics of forest-tundra communities in the Polar Urals // Ecology. 2005. № 2. P. 1–8.
11. Shiyatov S. G., Terentev M. M., Fomin V. V., Zimmermann N. E. Vertical and horizontal shifts of the upper limit of closed forests and woodlands in the XX century, the Polar Urals // Ecology. 2007. № 4. P. 243–248.
12. Kapralov D. S., Shiyatov S. G., Moiseev P. A., Fomin V. V. Changes in the composition, structure, and altitudinal undergrowth at the upper limit of their growth in the Northern Urals // Ecology. 2006. № 6. P. 403–409.
13. Fomin V. V., Kapralov D. S., Terentev M. M., Barova A. A., Ustinov A. V., Zimmermann N. E. Spatial and temporal dynamics of the timber in the southern Urals in the second half of the XX century // Geoinformatics. 2007. № 1. P. 56–61.
14. Fomin V. V. Certificate of state registration of the computer № 2010612715 on April 21, 2010 “Segmentation Geospace at ground geoimages — Geoimage Spatial Segmentation Model (GeoSSM)”.
15. Fomin V. V., Michailovich A. P., Popov A. S., Nizametdinov N. F., Shalaumova Yu. V. Metrological aspects of image analysis // Measuring technology. 2008. № 2. P. 25–28.