

УДК 574.4+581.524.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ  
ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ВЕРХНЕМ ПРЕДЕЛЕ ЕЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВТОРНЫХ  
ЛАНДШАФТНЫХ ФОТОГРАФИЙ**

А. П. МИХАЙЛОВИЧ,  
старший преподаватель кафедры физических методов  
и приборов контроля качества  
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»,  
620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19,  
e-mail: anna.mikhailovich@gmail.com

В. В. ФОМИН,  
доктор биологических наук,  
профессор кафедры лесных культур и биофизики  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37;  
тел.: +7 (343) 261-46-16, e-mail: fomval@gmail.com

**Ключевые слова:** повторные ландшафтные фотографии, древесная растительность, пространственно-временная динамика, экотон, Полярный Урал.

В районе исследований, расположенном в нижнем течении рек Енгаю и Кердоманшор (горный массив Рай-Из, Полярный Урал), с 1960 г. до настоящего времени проводятся исследования древесной растительности, произрастающей на верхнем пределе ее распространения. На данной территории в период с 1960 по 2016 гг. проводилась повторная фотосъемка ландшафтов в нескольких десятках точек. Полученный фотоархив использован для создания методики обработки, анализа и представления повторных ландшафтных фотографий с целью изучения пространственно-временной динамики древесной растительности.

Использование повторных ландшафтных фотографий вместе с картосхемами, на которых обозначены участки местности, видимые на снимках, позволяет решить проблему формирования целостного представления об исследуемой территории у специалистов-экологов. Сочетание картосхемы и фотографий упрощает задачу наблюдателя, позволяет ему воспринимать фотоснимки как взаимодополняющие источники данных об одном и том же участке местности, но отображенном в разных масштабах (на разном удалении от наблюдателя), а также с разных сторон (с разных точек фотосъемки). Предложенная методика наложения слоя с областями видимости на другие геоинформационные слои дает возможность получить набор количественных характеристик исследуемого участка территории (диапазон высот участков местности, крутизна склона, поступление прямой солнечной радиации, уровень ветровых воздействий) и ассоциировать их с фотографиями.

## STUDY OF SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF WOODY VEGETATION AT ITS UPPER LIMIT IN THE POLAR URALS USING REPEATED LANDSCAPE PHOTOGRAPHS

A. P. MIKHAILOVICH,  
senior lecturer, chair of physical methods and quality control instruments  
of the Ural Federal University,  
620002, Russian Federation, Yekaterinburg, Mira street, 19,  
e-mail: anna.mikhailovich@gmail.com,

V. V. FOMIN,  
doctor of biological science, professor of chair of silviculture  
of biophysics, Ural State Forest Engineering University,  
620100, Russian Federation, Yekaterinburg, Sibirskiy Trakt, 37;  
Phone: +7 (343) 261-46-16, e-mail: fomval@gmail.com

**Keywords:** repeated landscape photographs, woody vegetation, spatio-temporal dynamics, ecotone, Polar Urals.

The study area is located close to Yengaiu and Kerdomanshor rivers (Massif Rai-Iz, the Polar Urals). Spatio-temporal dynamics of woody vegetation at the upper limit of its growth was studied from 1960 to the present. Repeated landscape photographs were taken from the same points of photography from 1960 to 2016. This photo archive was used to create method for processing and representation of repeated landscape photographs to analysis of the spatial-temporal dynamics of woody vegetation.

Presentation repeated landscape photos with the schematic map with points of shooting and area of visibility allows a researcher to solve the problem of a holistic representation of the study area for scientist, who can use such photos in their research, but do not have the possibility to visit the study area. This form of presentation allows people to use photos as compatible and additional data sources for the same piece of terrain, but displayed in different scales (at different distances from the observer), as well as with different point of view (with different shooting points). The proposed methodology of overlay layer with area of visibility to other GIS layers allows a researcher to get the quantitative characteristics of the study sites (altitude range, slope range, direct solar radiation, the level of wind impact) and associate them with photos. This dataset can be used to generate geo tags for photos or annotations for them in natural language.

### Введение

Повторные ландшафтные фотографии давно и успешно используются при проведении экологических исследований как в качестве иллюстраций, так и в качестве объективного источника данных об исследуемой территории и процессах, которые на ней происходят. Кроме того, фотографии являются относительно дешевыми и вместительными хранилищами большого объема информации. Однако использование

повторных ландшафтных фотографий в качестве источника данных для исследовательских задач может быть затруднено рядом проблем, которые обусловлены следующими особенностями: изменением масштаба и неравномерным освещением объектов в пределах изображения; разнообразием объектов и структур на фотоснимке; различиями в освещении, связанными с погодными условиями, временем года в момент съемки; ограничением размера отобра-

жаемого на фотоснимках фрагмента местности [1, 2].

Повышение эффективности использования наземных ландшафтных изображений в экологических исследованиях может быть достигнуто за счет решения следующих задач:

- 1) создания инструментов, позволяющих формировать у наблюдателя (исследователя) целостное представление об исследуемой территории в виде совокупности взаимосвязанных ландшафтных фотоснимков;

2) автоматизированного аннотирования и геотегирования фотоснимков;

3) создания картосхем, на которых условными знаками нанесена информация, полученная по повторным фотоснимкам;

4) автоматизированного анализа наземных ландшафтных изображений с целью получения количественных характеристик снимков и объектов, отображенных на них.

Цель данного исследования – разработка элементов методики геотегирования и аннотирования ландшафтных фотографий с использованием геоинформационных слоев, характеризующих рельеф местности, ветровые условия и поступление прямой солнечной радиации.

#### **Методика и объекты исследований**

Для решения описанных выше задач ранее была разработана методика обработки и анализа повторных ландшафтных фотографий [3]. В ее основе лежит представление участка местности на наземном фотоснимке в виде векторного полигонального или растрового слоя с областями видимости, которые соответствуют области фотоснимка. Его наложение на другие векторные и растровые геоинформационные слои позволяет получать информацию, содержащуюся в их атрибутивных таблицах, т. е. соотносить со снимком данные, полученные с использованием ГИС.

Район исследований – участок местности, расположенный в нижнем течении рек Енгаю и

Кердоманшор (горный массив Рай-Из, Полярный Урал). Географические координаты правого нижнего и левого верхнего углов района 66.7933 с. ш., 65.6545 в. д. и 66.8371 с. ш., 65.5044 в. д. соответственно. Диапазон значений высоты участков составляет 110–313 м над уровнем моря. Территория относится к естественным ландшафтам, слабо подверженным антропогенному влиянию [4]. В районе исследований находятся поля моренных отложений последнего горно-долинного оледенения с большим количеством озер [5], преобладают основные (габбро) и ультраосновные (перидотит) горные породы. Объект исследований – горные лиственничные леса предлесотундрового типа и подгольцовые лиственничные редколесья [6].

В данном районе с 1960 г. до настоящего времени проводятся исследования пространственно-временной динамики древесной растительности на верхнем пределе ее распространения. В ходе работ выполнялось повторное фотографирование элементов ландшафта с одних и тех же точек. На основе фотосъемки 2016 г. и полученных ранее С. Г. Шиятовым фотографий создан архив повторных фотографий.

Пары повторных ландшафтных фотоснимков, полученных с нескольких десятков точек фотосъемки, использованы для разработки методики геотегирования и аннотирования снимков. С помощью алгоритма, реализованного в геоинформационной

системе ARC/INFO на языке AML [7], для каждой фотографии была создана картосхема с областями видимости. Используемая при этом цифровая модель местности была получена в результате сложения цифровой модели рельефа (ЦМР) и растрового слоя, ячейки которого представляют местоположение деревьев со средней высотой 5 м.

На основе ЦМР рассчитаны следующие растры: поступление прямой солнечной радиации за период июнь – август [8], уклон (крутизна) склона, растр ветрового воздействия. При подготовке растра, характеризующего ветровые условия, использована функция ГИС для расчета теневого рельефа. Она позволяет определить, какие участки местности будут освещены, а какие затенены в зависимости от положения источника освещения. Положение источника задается двумя параметрами: углом над горизонтом и азимутом, характеризующим, с какой стороны источник освещает местность. Для моделирования ветровых воздействий выбирали значение азимута, соответствующее направлению преобладающих ветров. В ходе проведения полевых работ в 2016 г. по направлению флагообразности крон деревьев установлено, что в районе исследований преобладают северо-западного ветры.

#### **Результаты исследования**

На рис. 1–4 показаны две пары ландшафтных фотографий и соответствующие им картосхемы. Такая форма представления

наземных фотоснимков дает исследователю дополнительную информацию о местоположении точки фотосъемки и участке местности, отображенном на фотографии. Она повышает информативность фотоизображений

и расширяет возможности при проведении сравнительного анализа изменений, которые можно наблюдать с их помощью.

На фотографиях рис. 1 и 3 без дополнительной информации о точках и направлении фото-

съемки практически невозможно представить, что на них может быть отображен один и тот же участок местности (верхняя часть склона). Поэтому предложенная форма совмещения фотографий и картосхем позволяет



Рис. 1. Точка фотосъемки № 396. Снимки сделаны: верхний – С. Г. Шиятовым 21 июля 1962 г.; нижний – А. П. Михайлович 16 июля 2016 г.

исследователю решить проблему целостного представления исследуемой территории. Кроме того, у него появляется возможность проводить сравнительный анализ изображений в разных масштабах. На рис. 1 древесная

растительность находится от наблюдателя на расстоянии от 100 до 500 м, на рис. 3 – на удалении до 100 м.

Снимки, приведенные на рис. 1, дают представление об увеличении облесенности уча-

стка склона, а фотографии на рис. 3 позволяют оценить изменения размера и формы отдельных деревьев, расположенных на ближнем плане, а также сформировать представление об окружающем исследуемый участок

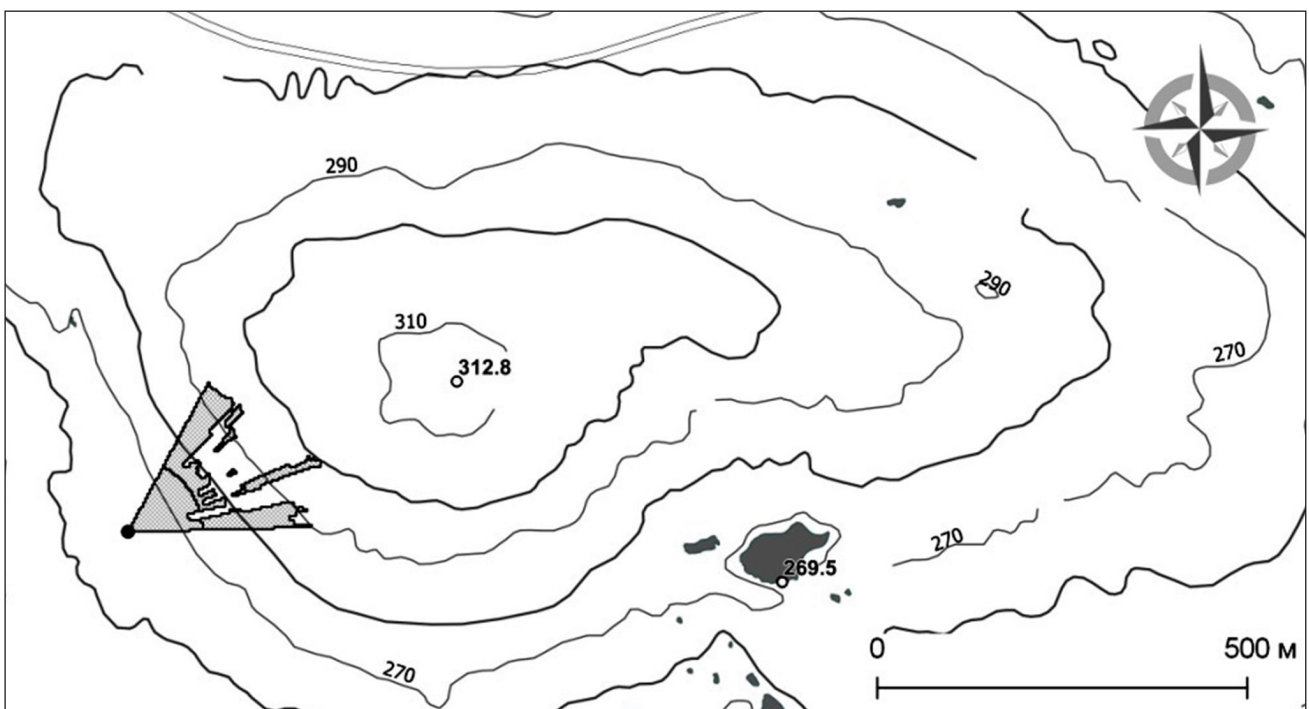
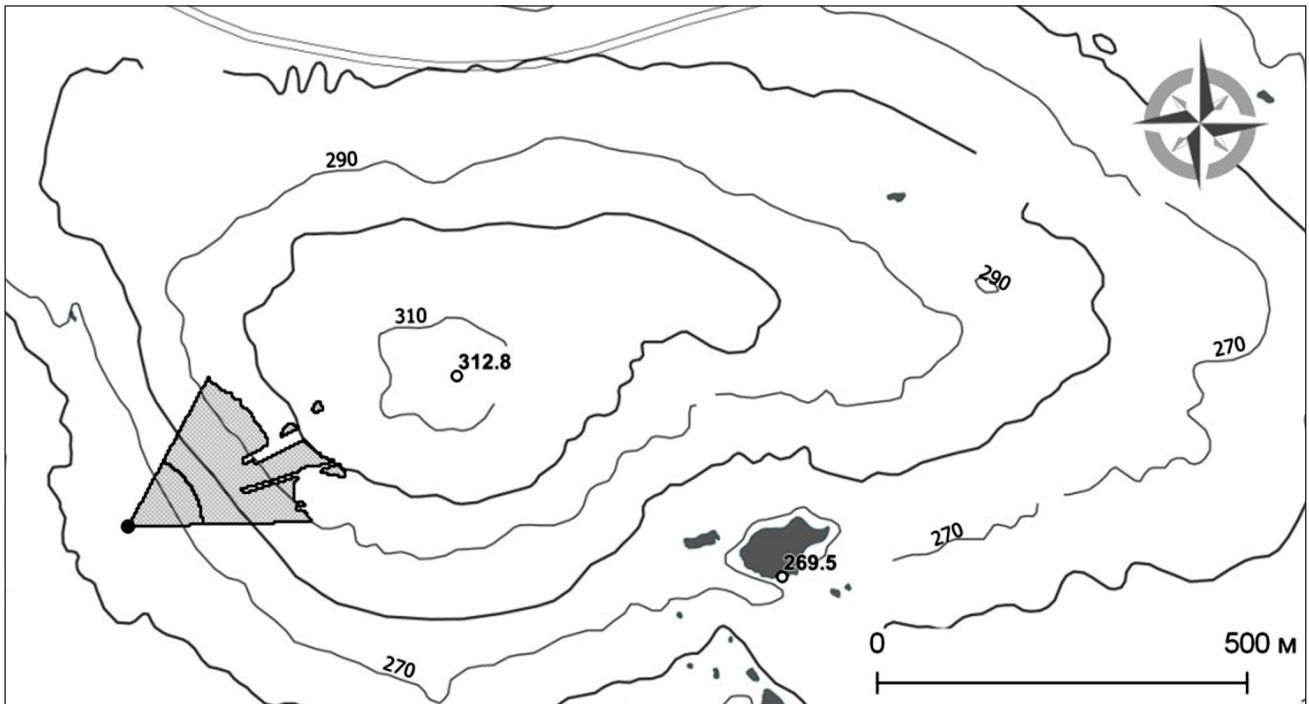


Рис. 2. Точка фотосъемки № 396. Области видимости соответствуют фотоснимкам, приведенным на рис. 1. Координаты точки фотосъемки:  $66.8185^{\circ}$  с.ш.,  $65.5375^{\circ}$  в.д. Направление фотосъемки:  $58^{\circ}$  (северо-восток). Угол отсчитывается от направления на север по часовой стрелке

ландшафте. Таким образом, данные фотоснимки взаимно дополняют друг друга.

Наложение секторов видимости, которые изображены на рис. 2 и 4 серым цветом, на растровые геоинформационные

слои, ячейки которых содержат значения высоты местности, крутизны склона, прямой солнечной радиации и ветрового воздействия, позволяет количественно оценить влияние соответствующих факторов на

участки местности, отображенные на снимках.

На фотографиях, полученных с точки № 396 (см. рис. 1), участок местности, который находится на удалении до 100 м от наблюдателя, характеризуется



Рис. 3. Точка фотосъемки № 466. Снимки сделаны: верхний – С. Г. Шиятовым 24 июля 1960 г.; нижний – А. П. Михайлович 15 июля 2016 г. На дальнем плане справа видна гора Черная, в нижней части снимка – озеро Ярейты

следующими количественными значениями: диапазон высот: 266–275 м, крутизна склона до 10°, хорошо прогреваемый участок (1976–2084 МДж/м<sup>2</sup>), среднее ветровое воздействие (950–1034 ед.).

Участок склона, расположенный на удалении 100–500 м, характеризуется следующими значениями параметров: диапазон высот 273–304 м, крутизна склона 5–11°, хорошо прогреваемый участок (2010–2153 МДж/м<sup>2</sup>),

среднее ветровое воздействие (825–1085 ед.).

Для фотографий, сделанных с точки № 466 (см. рис. 3), участки местности, расположенные на удалении от наблюдателя до 100 м, 100–500 м и свыше 500 м

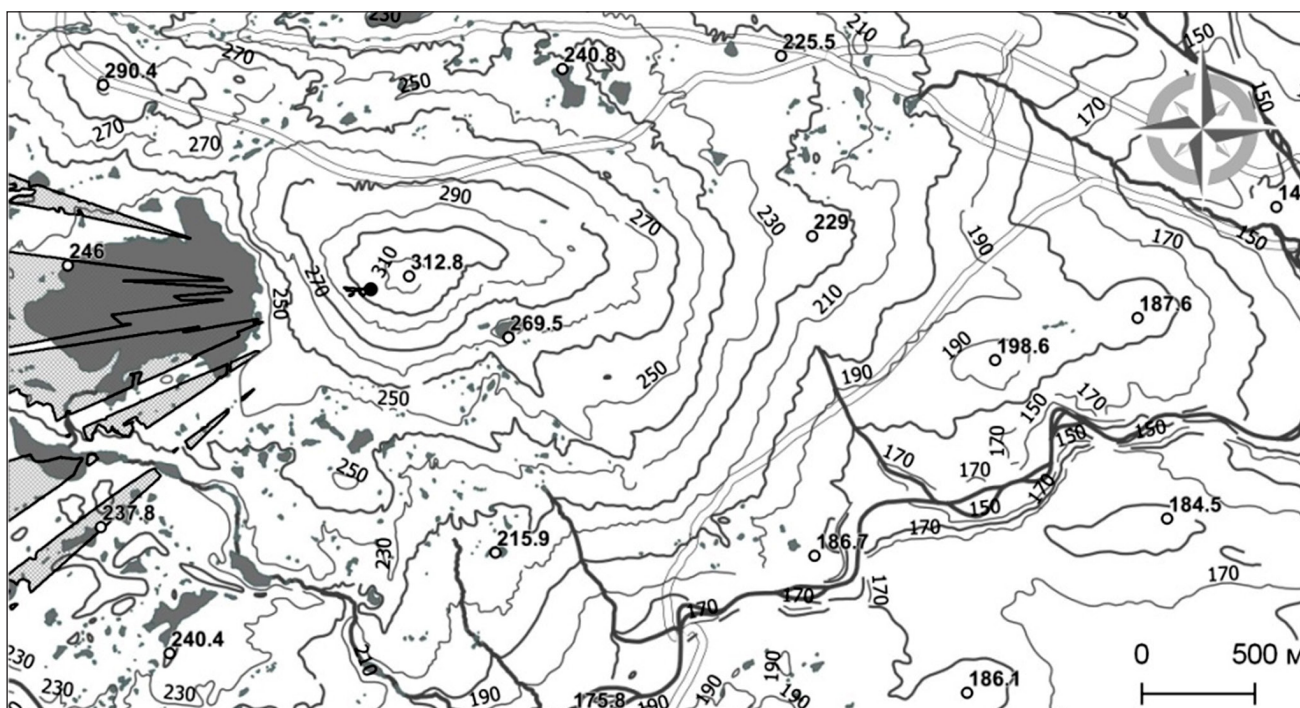
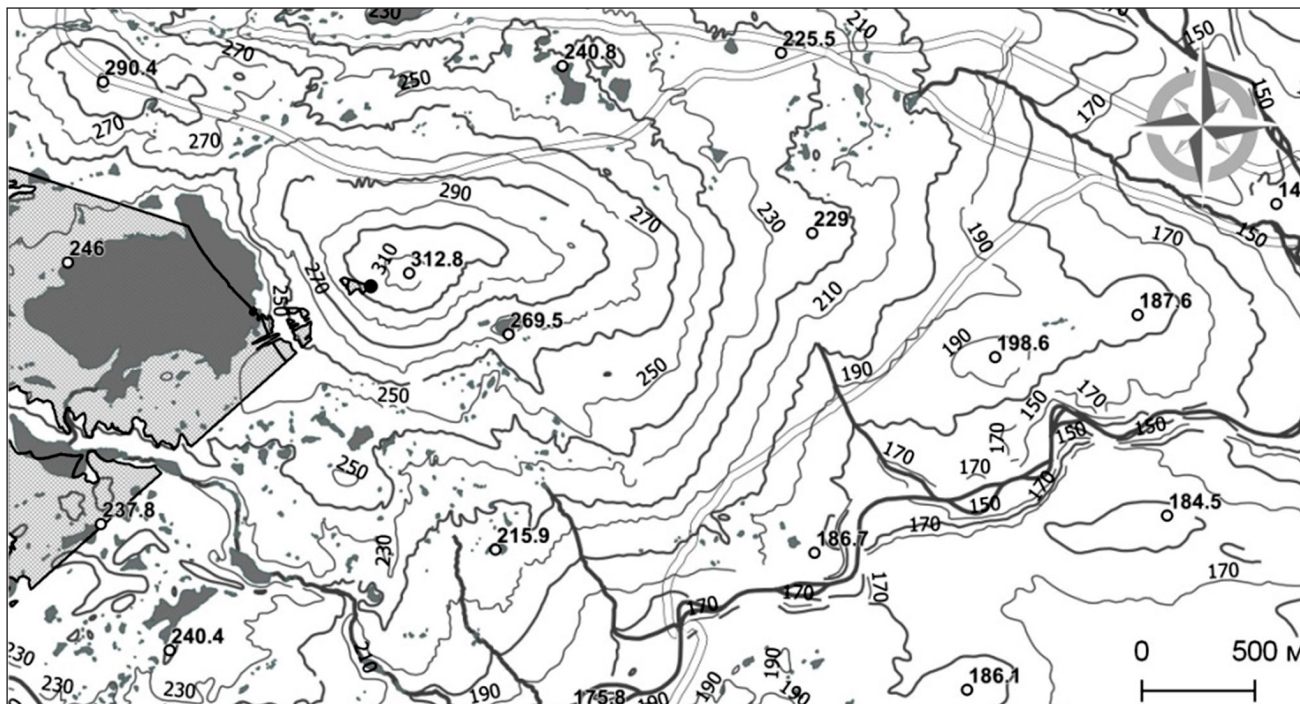


Рис. 4. Точка фотосъемки № 466. Области видимости соответствуют фотоснимкам, приведенным на рис. 3. Координаты точки фотосъемки: 66.8197° с.ш., 65.5439° в.д. Направление фотосъемки: 258° (угол отсчитывается от направления на север по часовой стрелке)

характеризуются следующими диапазонами высот, м: 293–303, 247–298, 230–260.

Крутизна склона этих участков варьирует в следующих пределах (град): 4–8, 0–13 и 0–27. Отображенный на снимке фрагмент района исследований достаточно хорошо прогревается в летний период: 1263–2019 Мдж/м<sup>2</sup>, ветровое воздействие соответствует среднему и высокому уровням: 532–1590 ед.

### Выводы

1. Представление повторных ландшафтных фотографий вместе с картограммами, точками фотосъемки, выделением областей видимости, соответствующих фрагментам местности, отображенным на снимках, позволяет

решить проблему формирования целостного представления об исследуемой территории у специалистов-экологов, которые могут использовать фотографии при проведении исследований, если у них нет возможности посетить данный район.

2. Данная форма представления позволяет использовать фотографии как взаимодополняющие источники данных об одном и том же участке местности, но отображенном в разных масштабах (на разном удалении от наблюдателя), а также с разных сторон и разных точек фотосъемки.

3. Предложенная методика наложения слоя с областями видимости на другие геоинформационные слои позволяет

получить набор количественных характеристик исследуемого участка территории (диапазон высот участков местности, диапазон значений крутизны склона, поступление прямой солнечной радиации, уровень ветровых воздействий) и ассоциировать их с фотографиями. Данный набор может быть использован для формирования геотегов для ландшафтных фотографий или тестовых аннотаций к ним.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-04-05857) и Министерства образования и науки РФ (государственные задания высшим учебным заведениям и научным организациям в сфере научной деятельности № 2001).

### Библиографический список

1. 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.
2. Фомин В. В., Михайлович А. П. Экологический фотомониторинг естественных и антропогенных ландшафтов // Аграрный вестник Урала. 2013. № 11 (117). С. 16–21.
3. Фомин В. В., Михайлович А. П., Шиятов С. Г. Новые подходы к изучению динамики древесной растительности с использованием разновременных ландшафтных фотоснимков (на примере Полярного Урала) // Экология. 2015. № 5. С. 323–321.
4. Андрешкина Н.И. К оценке флористического разнообразия фитоценозов Полярного Урала // Успехи современного естествознания. 2014. № 1. С. 7–12.
5. Шиятов С. Г., Терентьев М. М., Фомин В. В. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале // Экология. 2005. № 2. С. 1–8.
6. Фирсова В. П., Дедков В. С. Почвы высоких широт горного Урала. В. П. Фирсова, В. С. Дедков. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. 96 с.
7. 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)».
8. Zimmermann N. 2000. URL: [http:// www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/programs/aml1\\_3.html](http://www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/programs/aml1_3.html) [online]



*Bibliography*

1. Metrological aspects of image analysis / V. V. Fomin, A. P. Mikhailovich, A. S. Popov, N. F. Nizametdinov, Yu. V. Shalaumova // Measurement Techniques. 2008. № 51(2). P. 25–28.
2. Fomin V. V., Mikhailovich A. P. Ecological photo monitoring of natural and anthropogenic landscapes // Russian Journal of Agricultural Research. 2013. № 11 (117). P. 16–21.
3. Fomin V. V., Mikhailovich A. P., Shiyatov S. G. New approaches to studies on the dynamics of high-mountain tree vegetation using repeated landscape photographs: The example of the Polar Urals // Russian Journal of Ecology. 2015. Vol. 46. Issue 5. P. 321–323.
4. Andreyashkina N. I. To the evaluation of floristic diversity of phytocenoses in the Polar Urals // Successes of modern natural science. 2014. № 1. P. 7–12.
5. Shiyatov S. G., Terent'ev M. M., and Fomin V. V. Spatiotemporal Dynamics of Forest–Tundra Communities in the Polar Urals // Russian Journal of Ecology. 2005. Vol. 36. Issue 2. P. 1–8.
6. Firsova V. P., Dedkov V. S. Soils of high latitudes of the mountain Urals. Sverdlovsk, Urals Branch of the USSR Academy of Sciences, 1983. 96 p.
7. Fomin V. V. Certificate of computer programs of state registration No2010612715 Geoimage Spatial Segmentation Model (GeoSSM), 2010.
8. Zimmermann N. 2000. URL: [http:// www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/programs/am11\\_3.html](http://www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/programs/am11_3.html) [online]

УДК 332

**ВЛИЯНИЕ ЗЕЛЕННЫХ ЗОН КРУПНЫХ ГОРОДОВ  
НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ**

Д. А. ЛУКИН,  
аспирант кафедры землеустройства и кадастров  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37,  
e-mail: dmi200@mail.ru

О. Б. МЕЗЕНИНА,  
доктор экономических наук, доцент,  
заведующий кафедрой землеустройства и кадастров  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37;  
тел.: +7 (343) 261-52-88, e-mail: mob.61@mail.ru

**Ключевые слова:** *зеленые зоны; городские территории; озеленение; загрязнение; рекреация.*

На территории городов нарушен естественный экологический баланс. Развитие и функционирование городских территорий определяется, как правило, не законами природы, а потребностью людей. Такие структуры являются результатом разрушительной и созидательной деятельности многих поколений. Природа реагирует на преобразования неоднозначно.

Существует определенная закономерность накопления в городе таких несвойственных живой природе отходов. Атмосфера засоряется выбросами, почвы собирают вредные вещества. Возникают и другие отрицательные последствия урбанизации, с которыми природа не может справиться, поскольку теряет способность к самовосстановлению.