

REFERENCES

1. Atlas gidrogeologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh kart SSSR. Karta estestvennykh resursov podzemnykh vod SSSR (podzemnogo stoka zony intensivnogo vodoobmena) [Atlas of hydrogeological and engineering-geological maps of the USSR. Map of natural resources of underground waters of the USSR (underground runoff of the zone of intensive water exchange)]. M., 1983. [Elektronnyj resurs]: http://www.hge.pu.ru/mapgis/subekt/obzorniye/ig_atlas/est_res.pdf.
2. Atlas SSSR. Karta «Srednij mnogoletnij stok rek» [Atlas of the USSR. Map «Average long-term runoff of the rivers»]. M.: Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov SSSR, 1983. 260 p.
3. Vinokurov Yu.I., Cimbalej Yu.M. Regional'naya landshaftnaya struktura Sibiri [Regional landscape structure of Siberia]: monografiya / Ros. akad. nauk, Sib. otd-nie, In-t vod. i ehkol. problem; Min-vo obrazovaniya i nauki RF, GOU VPO «Alt. gos. un-t», Geogr. fak. Barnaul: Izd-vo AGU, 2006. 95 p.
4. Vodnye resursy Rossii i ih ispol'zovanie [Water resources of Russia and their use] / pod red. I.A. Shiklomanova. SPb.: Gosudarstvennyj gidrologicheskij institut, 2008. 600 p.
5. Danilov-Danil'yan V.I., Losev K.S. Potreblenie vody: ehkologicheskie, ehkonomicheskie, social'nye i politicheskie aspekty [Water consumption: ecological, economic, social and political aspects]. M.: Nauka, 2006. 221 p.
6. Danilov-Danil'yan V.I., Gel'fan A.N. Vodnaya bezopasnost' // Federal'nyj spravochnik № 29. Nacional'naya bezopasnost' Rossii. Vyp. 2. Realizaciya strategicheskikh nacional'nykh prioritetov, regional'noe i mezhdunarodnoe sotrudnichestvo [Water security // Federal reference No. 29. National security of Russia. Iss. 2. Implementation of strategic national priorities, regional and international cooperation]. M., 2015. S. 269–276. [Elektronnyj resurs]: <http://federalbook.ru/projects/bezopasnost/2.html>.
7. Resursy presnykh i malomineralizovannykh podzemnykh vod yuzhnoj chasti Zapadno-Sibirskogo artezianskogo bassejna [Resources of fresh and low-mineralized groundwater in the south of West Siberian artesian basin] / sost.: I.M. Zemskova, YU.K. Smolencev, M.P. Polkanov i dr. M.: Nedra, 1991. 262 p.
8. Shiklomanov I.A. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean // The Freshwater Budget of the Arctic Ocean. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2000. Pp. 281–297.

УДК 581.5+004.9

А.П. Михайлович¹, В.В. Фомин², С.Г. Шиятов³

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВЫСОКОГОРНОЙ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО ДАННЫМ ФОТОМОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС

Резюме. Разработана методика обработки повторных ландшафтных фотографий и представления ее результатов для дальнейшего анализа пространственно-временной динамики древостоев в верхнем пределе произрастания древесной растительности на Полярном Урале

¹ Уральский государственный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Физико-технологический институт, кафедра физических методов и приборов контроля качества, Екатеринбург, 620002, Россия, ст. преподаватель; e-mail: anna.mikhailovich@gmail.com.

² Уральский государственный лесотехнический университет, Институт леса и природопользования, лаборатория ГИС-технологий в области наук о лесе и экологии, Екатеринбург, 620100, Россия, профессор; e-mail: fomval@gmail.com.

³ Институт экологии растений и животных УрО РАН, лаборатория дендрохронологии, Екатеринбург, 620144, Россия, профессор; e-mail: stepan@ipae.uran.ru.

(горный массив Рай-Из). С ее помощью возможно решение ряда задач, которые возникают при использовании повторных ландшафтных фотоснимков: формирование у пользователя целостного представления исследуемой территории; получение дополнительных качественных и количественных характеристик участков местности, автоматизированное аннотирование наземных фотоизображений, создание тематических карт или картосхем с использованием данных, полученных при анализе повторных ландшафтных фотоснимков.

Ключевые слова: Повторные ландшафтные фотографии, верхняя граница леса, пространственно-временная динамика, картосхема, Полярный Урал.

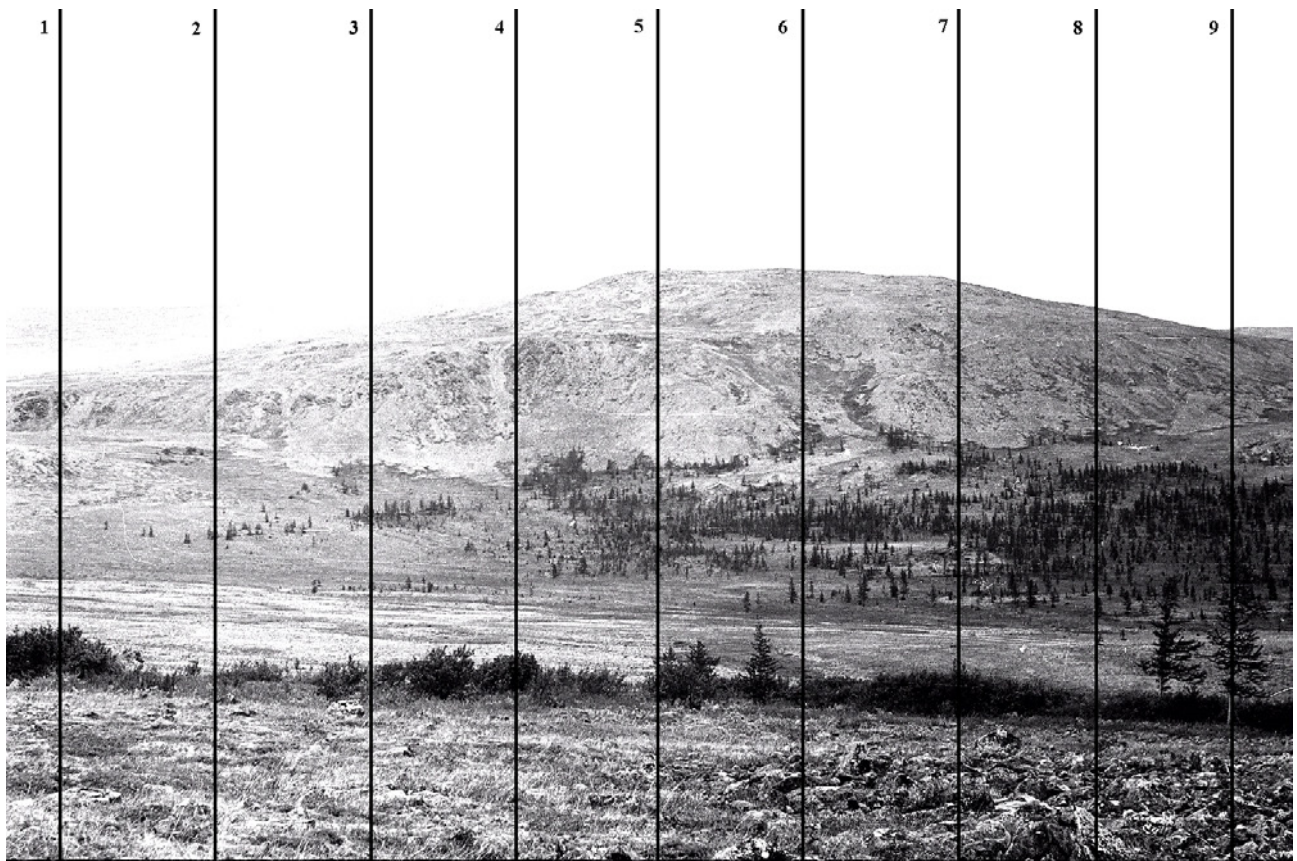
Введение. Повторные ландшафтные фотографии широко используются при проведении исследований в области лесной экологии и лесном хозяйстве, в основном, в качестве иллюстраций изменений, которые произошли на исследуемом участке местности за определенный период (Hall, 2001; Нестеров, Сарычев, 2006; Сарычев, 2006; Фомин и др., 2007; Фомин и др., 2008а; Фомин, 2009; Hendrick, Copenheadver, 2009; Webb, Boyer, Turner, 2010). Однако ландшафтные фотографии могут рассматриваться как объективный и наглядный источник данных о местности, так как являются вместительными и относительно дешевыми хранилищами большого объема информации (Dahdouh-Guebas, Koedam, 2008), которую нужно уметь извлекать для дальнейшего анализа.

Процедура извлечения информации из ландшафтных фотоснимков сопряжена с рядом сложностей, обусловленных недостатками, присущими этому источнику данных. Эти недостатки могут затруднять автоматизированный анализ и получение количественных характеристик отображенных на фотографии объектов. К ним можно отнести: изменение масштаба в пределах снимка, большое разнообразие объектов и освещенности (Фомин и др., 2008б; Фомин, Михайлович, 2013). Необходимо также отметить, что на фотоснимок попадает фрагмент ландшафта, который виден из точки фотосъемки в определенном направлении. При отсутствии информации о местоположении фотографа в момент фотосъемки и направлении оптической оси фотоаппарата достаточно трудно сформировать целостное представление об изучаемом пространстве даже при наличии множества фотографий.

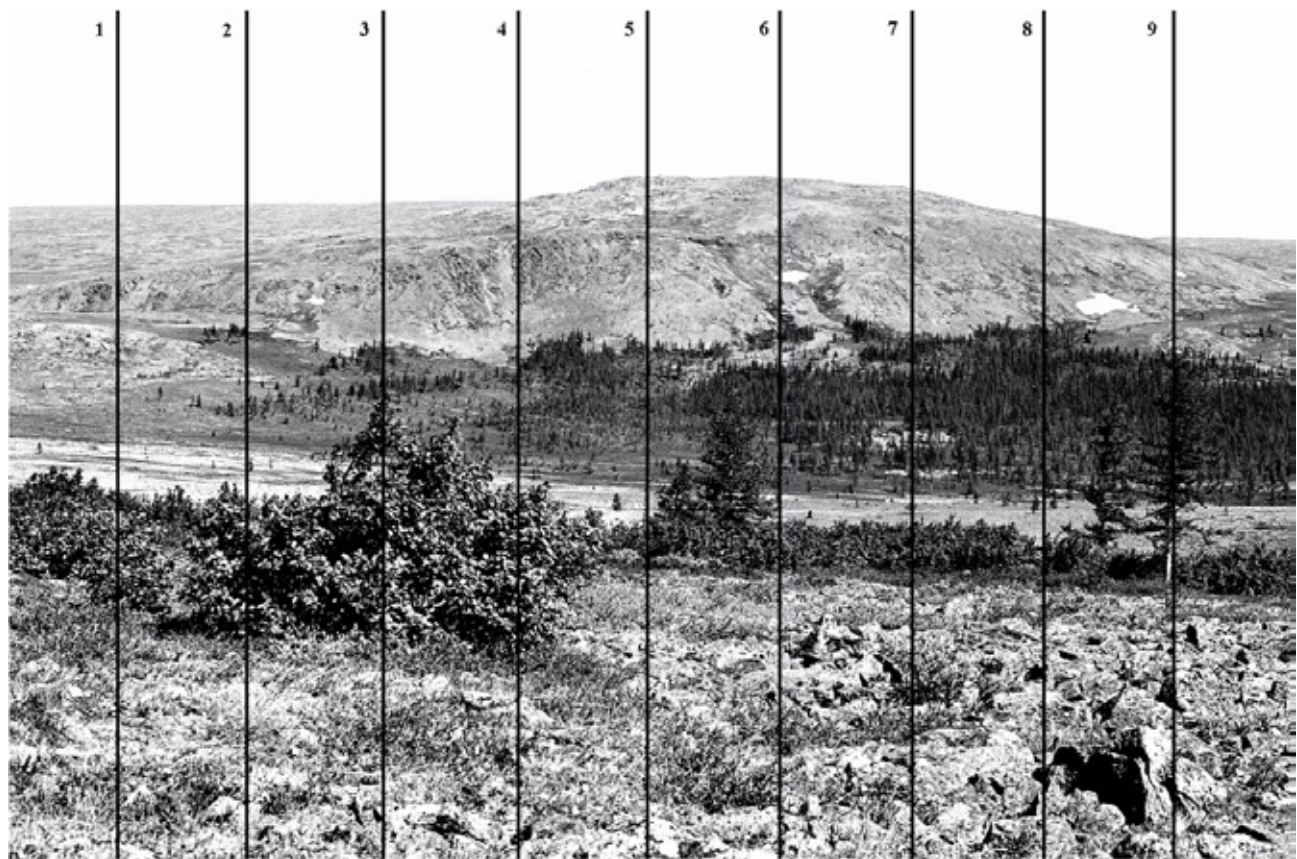
Перед исследователем при работе с ландшафтными изображениями, как правило, стоят следующие задачи: 1) формирование целостного представления об изучаемой территории в виде совокупности взаимосвязанных ландшафтных снимков; 2) создание тематических картосхем с использованием повторных ландшафтных фотоснимков; 3) аннотирование ландшафтных фотоснимков; 4) получение количественных характеристик снимков и объектов, отображенных на них, с использованием автоматизированных алгоритмов обработки и анализа изображений. Разработанная методика позволяет решить первые три из них.

Материалы и методы исследований. При создании методики использованы повторные ландшафтные фотоснимки, сделанные С.Г. Шиятовым за период с 1962 по 2004 г. на горном массиве Рай-Из (Полярный Урал, Россия). На исследуемой территории произрастают редкостойные лиственничные древостои (*Larix sibirica* Ledeb.). Подробная характеристика района исследований описана ранее (Шиятов и др., 2005; Фомин, 2009). Архив повторных фотографий насчитывает несколько тысяч фотографий.

Фрагмент территории, отображенный на фотоснимке, можно представить на карте в виде сектора с областями видимости. Правую и левую сторону сектора ограничивают прямые, исходящие из точки фотосъемки. Конфигурация дальней (от наблюдателя стороны) определяется в результате проведения анализа видимости по цифровой модели рельефа в геоинформационной системе (ГИС). На рис. 1 приведены две фотографии юго-восточного макросклона Рай-Из (Красный камень), сделанные в 1962 и 2004 годах. На рис. 2 приведены две картосхемы с сектором с областями видимости, на который нанесены условные знаки, характеризующие древесную растительность в шестидесятых годах XX и начале XXI веков. Вертикальные линии на снимках (рис. 1) соответствуют лучам, исходящим из точки фотосъемки (рис. 2). Расстояние между вертикальными линиями соответствует примерно 10% ширины большего снимка. Величина угла между лучами составляет 10% от величины угла сектора. Нанесение вертикальных линий и лучей сделано для удобства перенесения информации со снимка на карту.

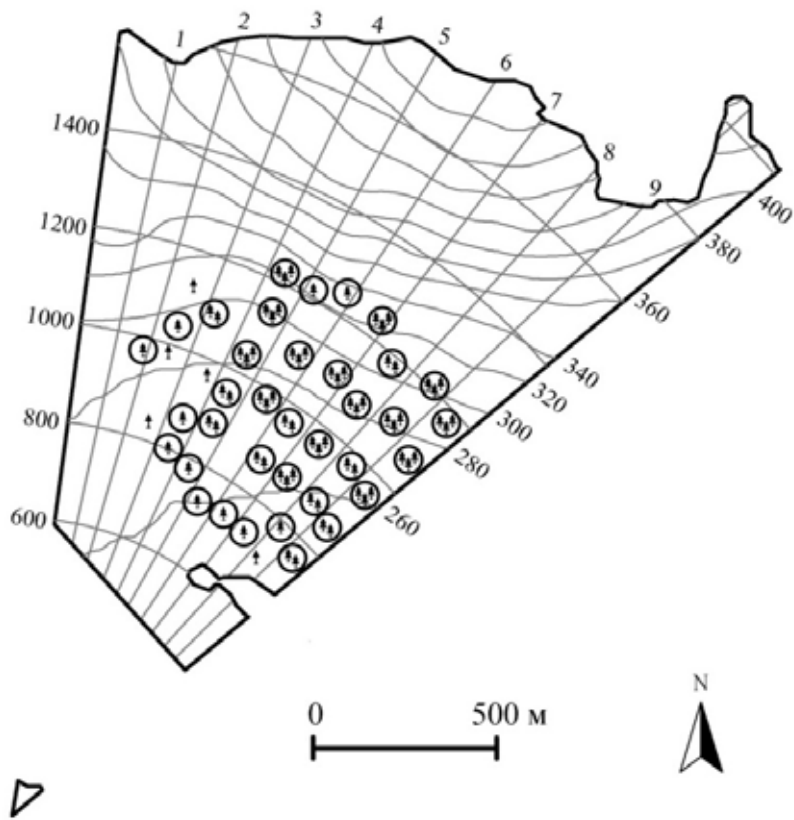


(a)

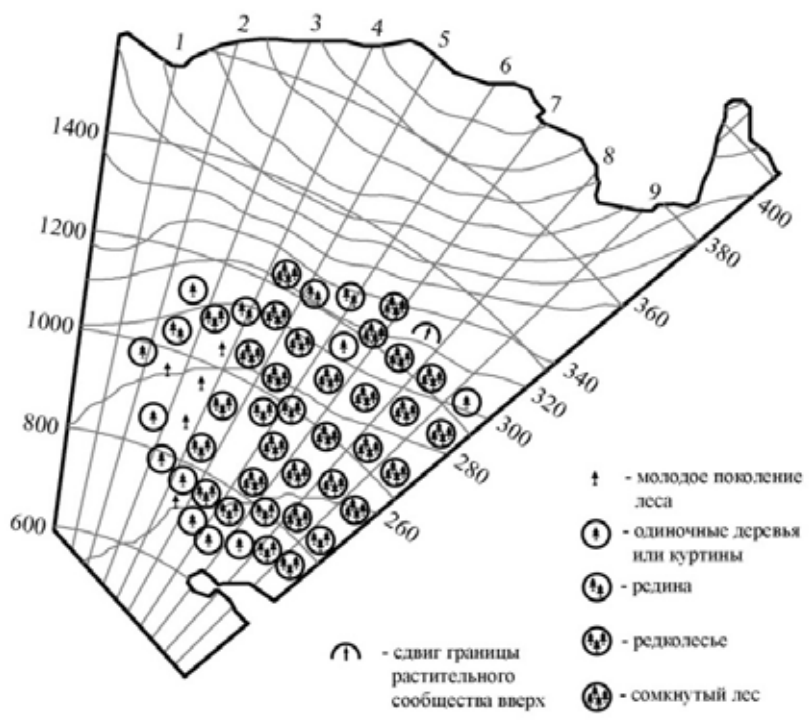


(б)

Рис. 1. Ландшафтные снимки, сделанные С.Г. Шиятовым с точки съемки № 54 в 1962 (а) и 2004 (б) гг. Вертикальные линии нанесены на снимки для облегчения идентификации участков местности и древесной растительности



(a)



(б)

Рис. 2. Картограммы, характеризующие древесную растительность в 1962 (а) и 2004 (б) гг. на участке склона горного массива Рай-Из, который виден на фотоснимках, сделанных с точки фотосъемки № 54

Источниками данных об участке местности, изображенном на снимке, могут быть геоинформационные слои, полученные в результате применения функций и моделей ГИС. В данном исследовании были использованы следующие функции и модели ГИС ARC/INFO: уклон (slope) и экспозиция склона (aspect), функция расчета буферного расстояния (buffer) от точки, модель расчета топографического индекса влажности СТИ (Evans, 2003).

Кроме фотографий, в работе использовались такие пространственные данные, как цифровая модель рельефа (пространственное разрешение 10 м); векторный слой с точками фотосъемки; векторный линейный слой с изолиниями высот; векторный точечный слой с отметками высот; линейный слой речной сети, спектрально-зональный аэроснимок высокого пространственного разрешения 2003 г. Аэроснимок был ортотрансформирован с помощью программного обеспечения ERDAS Imagine (ERDAS Inc., США). На его основе был создан векторный точечный слой, в котором точками обозначено местоположение деревьев.

Результаты исследований и их обсуждение. Представление на карте сектора с областями видимости, которые соответствуют фрагментам местности, отображенным на снимке, открывает возможности для решения проблемы формирования у исследователя целостного представления изучаемого района с помощью ландшафтных фотографий. Точка фотосъемки и сектор дают информацию об ориентации фотоснимка. Кроме того, топологическое наложение секторов, соответствующих разным фотоснимкам, позволяет определить какие элементы ландшафта и объекты, например, древесная растительность видны на разных фотографиях. Возможность рассмотреть объекты на разном удалении от наблюдателя с разных ракурсов дает исследователю дополнительную (по сравнению с просмотром одиночного снимка) информацию для анализа изменений, которые можно оценить с использованием одновременных повторных фотографий.

На ландшафтном снимке отображены участки местности, находящиеся на разном удалении от наблюдателя, поэтому содержащаяся на нем информация относится к разным пространственным масштабам. Например, на дальнем плане фотоснимка можно установить факт смещения верхней границы леса и изменения густоты древостоев, а на ближнем плане – оценить особенности возобновления древесной растительности.

Для решения задачи получения дополнительных данных о местности, отображенной на снимке, а также его автоматизированного аннотирования предлагается использовать пространственные данные и результаты моделирования в ГИС с последующим их наложением на сектор с областями видимости. В результате топологического наложения слоев, характеризующих экспозицию, уклон, влажность участков местности на слой – сектор с областями видимости, можно получить набор количественных характеристик, а также поставленных им в соответствие шаблонов фраз, которые могут быть использованы при подготовке аннотации к снимку.

На рис. 2 приведены результаты одного из вариантов переноса информации со снимка на карту. Он состоит в нанесении условных знаков, которые характеризуют древесную растительность или изменения, которые произошли в экотоне верхней границы древесной растительности: отсутствие или наличие молодого поколения древесных растений, изменение густоты, продвижение растительности вверх по склону. Полученные таким образом картосхемы являются первым необходимым элементом для создания тематических карт или картосхем всей исследуемой территории на основе анализа повторных ландшафтных фотоснимков.

Выводы. Разработанная методика анализа и представления наземных фотоснимков направлена на решение следующих задач использования повторных ландшафтных снимков:

- формирования у исследователя целостного представления об изучаемом пространстве;

- проблемы получения дополнительных данных о местности, создания и аннотаций к ландшафтными снимкам;
- проблемы создания тематических карт или картосхем с использованием повторных ландшафтных фотоснимков.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нестеров Ю.А., Сарычев В.С. Фотомониторинг ландшафтов Среднерусской лесостепи // Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология, 2006. № 1. С. 53–63.
2. Сарычев В.С. Фотомониторинг состояния популяции Шиверекии подольской *Schivereckia podolica* Andrз. в заповеднике «Галичья Гора» // Экологические исследования в заповеднике «Галичья Гора». 2006. Вып. 1. С. 33–42.
3. Сарычев В.С., Нестеров Ю.А. Фотографическое наследие В.Н. Хитрово // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2007. № 2. С. 123–125.
4. Фомин В.В. Климатогенная и антропогенная динамика древесной растительности во второй половине XX века. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2009. 150 с.
5. Фомин В.В., Попов А.С., Низаметдинов Н.Ф., и др. Морфофизиологическая и автоматизированная оценка состояния сосновых древостоев в зоне действия атмосферных промышленных загрязнений [Morphophysiological and automated assessment of pine stands in the zone of atmospheric industrial pollution] // Лесной вестник. 2007. № 8. С. 75–79.
6. Фомин В.В., Капралов Д.С., Попов А.С., Крюк В.И. Автоматизированная оценка состояния деревьев с использованием системы анализа изображений // Лесной журнал. 2008. № 1. С. 24–30.
7. Фомин В.В., Михайлович А.П., Попов А.С. и др. Метрологические аспекты анализа изображений // Измерительная техника. 2008. № 2. С. 25–28.
8. Фомин В.В., Михайлович А.П. Экологический фотомониторинг естественных и антропогенных ландшафтов // Аграрный вестник Урала. 2013. № 11 (117). С. 16–21.
9. Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. [Dynamics of tree and shrub vegetation in the mountains of the Polar Urals under the influence of contemporary climate change.] Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2009. 216 с.
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. Evans J. Compound Topographic Index // <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=11863>, 2003.
12. Dahdouh-Guebas F., Koedam N. Long-term retrospection on mangrove development using transdisciplinary approaches: A review // Aquatic Botany. 2008. V. 89. Pp. 80–92.
13. Hall F. C. Ground-Based Photographic Monitoring // General Technical Report PNW-GRT-503 U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station – Portland. 2001. Pp. 1–40.
14. Hendrick L.E., Copenheadver C.A. Using Repeat Landscape Photography to Assess Vegetation Changes in Rural Communities of the Southern Appalachian Mountains in Virginia, USA // Mountain Research and Development. 2009. V. 29. № 1. Pp. 21–29.
15. Webb R. H., Boyer D. E., Turner R. M. Repeat photography: methods and applications in the Natural Sciences. Washington, Covelo, London: IslandPress, 2010. 338 p.

ANALYSIS OF THE WOODY VEGETATION DYNAMICS IN THE AREA OF TREE LINE ECOTONE ON THE BASIS OF PHOTO MONITORING DATA AND USING GIS

Abstract. A method of processing and presentation of the repeated landscape photographs for analysis of spatio-temporal dynamics of woody vegetation in tree line ecotone the Polar Urals (mountain Rai-Iz) was developed. It is intended to solve problems with the use of such photographs so as to help the researcher to gain an integral representation of the space under study, obtain additional information about the region of interest, create and update annotation to photographs, and develop thematic maps using repeated landscape photography.

Key words: repeated landscape photographs, woody vegetation, spatio-temporal dynamics, cartographic signs, Polar Ural.

Acknowledgement. The study was supported by The Ministry of Education and Science of the Russian Federation (project 2001) and Russian Foundation for Basic Research (project 15-04-05857a).

REFERENCES

1. Nesterov Yu.A., Sarychev V.S. Fotomonitoring landshaftov Srednerusskoj lesostepi [Russian Central Forest-Steppe landscapes Fotomonitoring] // Vestnik VGU, Seriya: Geografiya. Geoekologiya, 2006. № 1. Pp. 53–63.
2. Sarychev V.S. Fotomonitoring sostoyaniya populyacii SHiverekii podol'skoj Schivereckia podolica Andrz. v zapovednike «Galich'ya Gora» [Fotomonitoring population status Shiverekii Podolsk Schivereckia podolica Andrz. in reserve «Galichya Mountain»] // Ehkologicheskie issledovaniya v zapovednike «Galich'ya Gora». 2006. Vyp. 1. Pp. 33–42.
3. Sarychev V.S., Nesterov Yu.A. Fotograficheskoe nasledie V. N. Hitrovo [Photographic heritage VN Khitrovo] // Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2007. № 2. Pp. 123–125.
4. Fomin V.V. Klimatogennaya i antropogennaya dinamika drevesnoj rastitel'nosti vo vtoroj polovine XX veka. [Climatogenic and anthropogenic dynamics of woody vegetation in the second half of the XX century]. Ekaterinburg: IEHRiZH UrO RAN, 2009. 150 p.
5. Fomin V.V., Popov A.S., Nizametdinov N.F., i dr. Morfofiziologicheskaya i avtomatizirovannaya ocenka sostoyaniya osnovnyh drevostoev v zone dejstviya atmosferynyh promyshlennyh zagryaznenij // Lesnoj vestnik. 2007. № 8. Pp. 75–79.
6. Fomin V.V., Kapralov D.S., Popov A.S., Kryuk V.I. Avtomatizirovannaya ocenka sostoyaniya derev'ev s ispol'zovaniem sistemy analiza izobrazhenij [Automated assessment of the trees using an image analysis system] // Lesnoj zhurnal. 2008. № 1. Pp. 24–30.
7. Fomin V.V., Mihajlovich A.P., Popov A.S. i dr. Metrologicheskie aspekty analiza izobrazhenij [Metrological aspects of image analysis] // Izmeritel'naya tekhnika. 2008. № 2. Pp. 25–28.
8. Fomin V.V., Mihajlovich A.P. Ekologicheskij fotomonitoring estestvennyh i antropogennyh landshaftov [Environmental fotomonitoring natural and man-made landscapes] // Agrarnyj vestnik Urala. 2013. №11 (117). Pp. 16–21.

¹ Ural Federal University, Physics and Technological Institute, chair of physics methods and quality control methods, Yekaterinburg, 620002, Russia, senior lecturer; e-mail: anna.mikhailovich@gmail.com 119991, Russia.

² Ural State Forest Engineering University, Institute of Forest and Natural Resource Management, GIS-Technologies Research Laboratory in Forest Sciences and Ecology, Yekaterinburg, 620100, Russia, professor; e-mail: fomval@gmail.com.

³ Institute of Plant and Animal Ecology UB RAS, Laboratory of Dendrochronology, Yekaterinburg, 620144, Russia, professor; e-mail: stepan@ipae.uran.ru.

9. *Shiyatov S. G.* Dinamika drevesnoj i kustarnikovej rastitel'nosti v gorah Polyarnogo Urala pod vliyaniem sovremennyh izmenenij klimata. Ekaterinburg: IEHRiZH UrO RAN, 2009. 216 p.
 10. *Shiyatov S.G., Terent'ev M.M., Fomin V.V.* Prostranstvenno-vremennaya dinamika lesotundrovyyh soobshchestv na Polyarnom Urale [Spatio-temporal dynamics of forest-tundra communities in the Polar Urals] // *Экология*. 2005. № 2. Pp. 1–8.
 11. *Evans J.* Compound Topographic Index // <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=11863>, 2003.
 12. *Dahdouh-Guebas F., Koedam N.* Long-term retrospection on mangrove development using transdisciplinary approaches: A review // *Aquatic Botany*. 2008. V. 89. Pp. 80–92.
 13. *Hall F. C.* Ground-Based Photographic Monitoring // General Technical Report PNW-GRT-503 U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station – Portland. 2001. Pp. 1–40.
 14. *Hendrick L.E., Copenheadver C.A.* Using Repeat Landscape Photography to Assess Vegetation Changes in Rural Communities of the Southern Appalachian Mountains in Virginia, USA // *Mountain Research and Development*. 2009. V. 29. № 1. Pp. 21–29.
 15. *Webb R. H., Boyer D. E., Turner R. M.* Repeat photography: methods and applications in the Natural Sciences. Washington, Covelo, London: IslandPress, 2010. 338 p.
-

УДК 630*43

А.С. Плотникова¹, Д.В. Ершов², П.П. Шуляк³

МЕТОД ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ ЗАКОНА ПУАССОНА

Резюме. В статье описан метод оценки вероятности возникновения лесных пожаров с использованием закона Пуассона распределения дискретной случайной величины. В качестве параметра (λ), оценивающего распределение, используется среднее число пожаров в день для каждого класса пожарной опасности в заданный временной интервал. Так, параметр λ вычислялся независимо для весеннего, летнего и осеннего интервалов. Исходными данными для статистического анализа являются многолетние ежедневные данные расчета классов пожарной опасности по условиям погоды и карта очагов пожаров по спутниковым данным. В результате исследования получена база данных значений вероятности возникновения одного и более пожара. Валидация полученных значений вероятности проводилась по данным о пожарах 2013-го года на территории Иркутской области. Была определена ежедневная средневзвешенная оценка вероятности возникновения пожара, которая демонстрирует рост числа детектируемых пожаров по мере увеличения её значений. В тоже время, ряд пожаров возникает в дни с небольшими значениями прогнозируемой вероятности. Выдвинута гипотеза, объясняющая детектирование пожаров при низких значениях вероятности.

¹ Федеральное государственное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН), 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д.84/32; e-mail: alexandra@ifi.rssi.ru.

² Федеральное государственное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН), 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д.84/32; e-mail: ershov@ifi.rssi.ru.

³ Федеральное государственное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН), 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д.84/32; e-mail: pavel@ifi.rssi.ru.