

СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕЛЕННЫХ ЗОН
г. ЧЕРНОГОРСКА (ХАКАСИЯ) НА ОСНОВЕ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

М.А. Leshchinskaya, E.G. Lagunova,
E.Yu. Zhukova

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF GREEN AREAS
IN CHERNOGORSK (KHAKASIA) ON THE BASIS OF UNDERSATELLITE AND SATELLITE DATA

Лещинская М.А. – студ. 4-го курса Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан. E-mail: lumfa14@mail.ru

Лагунова Е.Г. – канд. биол. наук, доц. каф. биологии Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан. E-mail: lglagunova@mail.ru

Жукова Е.Ю. – канд. биол. наук, доц. каф. биологии Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан. E-mail: biosara@mail.ru

Leshchinskaya M.A. – 4-year Student, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Katanov Khakass State University”, Abakan. E-mail: lumfa14@mail.ru

Lagunova E.G. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Biology, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Katanov Khakass State University”, Abakan, Abakan. E-mail: lglagunova@mail.ru

Zhukova E.Yu. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Biology, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Katanov Khakass State University”, Abakan. E-mail: biosara@mail.ru

Данная статья основана на информации, полученной в ходе анализа показаний дистанционного зондирования (система Landsat 8) и флористических исследований в г. Черногорске (Республика Хакасия) за 2015-2016 гг. По наземным данным были проведены исследования флористического состава урбанофлоры. Флора парка и скверов г. Черногорска насчитывает 142 вида высших сосудистых растений, относящихся к 33 семействам и 105 родам. В городе и его окрестностях отмечено интенсивное антропогенное воздействие (расширение территории застройки), что сопровождается нарушением растительного покрова; в то же время создаются газоны и искусственные насаждения. В связи с синантропизацией городской среды в пределах города Черногорска можно выделить парки, скверы, газоны и придорожную растительность. В парках и скверах произрастают интродуцированные виды (*Populus alba* L., *P. balsamifera* L., *Acer negundo* L., *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun, *Syringa vulgaris* L., *Ulmus pumila* L. и другие). Дистанционным способом определены площади зеленых зон. Согласно их

спектральным показателям была проведена количественная оценка состояния растительности, определены наиболее продуктивные сообщества. Исследования показали, что большинство из изученных зеленых зон испытывают недостаток влаги (по данным *normalized difference water index* – NDWI). Показатели вегетационного индекса зеленых зон уменьшаются к августу, а к началу сентября растения увеличивают фотосинтезирующую массу (согласно *normalized difference vegetation index* – NDVI). Продуктивность фитоценозов зеленых зон различается незначительно, но наибольшие показатели обнаружены в скверах возле Станции Юных Туристов и «MultiDom». Полученные в результате материалы совместимы с ГИС-технологиями и могут быть использованы для более эффективного планирования озеленения города.

Ключевые слова: город Черногорск, урбанология, флора, озеленение городов, дистанционное зондирование, вегетационный индекс.

The study is based on the information obtained due to the analysis of remote sensing data (Landsat 8 system) and floristic studies in Chernogorsk city (the Republic of Khakasia) during 2015–2016. The researches of floristic structure of urban flora were conducted according to undersatellite data. The flora of park and squares of Chernogorsk totals 142 species of higher vascular plants relating to 33 families and 105 genera. In the city and its vicinities intensive anthropogenous influence (expanding building area) accompanied by the disturbance of vegetation cover was noted; at the same time lawns and artificial plantings were created. Due to the sinantropization of urban environment within the boundaries of Chernogorsk it is possible to allocate parks, squares, lawns and roadside vegetation. Introduced species (*Populus alba* L., *P. balsamifera* L., *Acer negundo* L., *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun, *Syringa vulgaris* L., *Ulmus pumila* L. and others) grow in the parks and squares. By remote sensing the areas of green zones were determined. According to their spectral indicators the quantitative assessment of the condition of vegetation was carried out, the most productive communities were defined. The researches showed that most of investigated green areas lacked water (according to normalized difference water index – NDWI). The indicators of vegetation index of green zones is reduced by August, but at the beginning of September the plants increase their photosynthetic mass (according to normalized difference vegetation index – NDVI). The productivity of phytocoenoses of green zones varied slightly, but the highest rates were found in the squares near the station of young tourists and near "MultiDom". Final materials are compatible with GIS-technologies and can be used for more effective planning of urban forestry.

Keywords: the city of Chernogorsk, urbanology, flora, urban forestry, remote sensing, vegetation index.

Введение. Растительность городов представляет собой базовый органический компонент с высокой экологической, эстетической и рекреационной ценностью. Городские растения, в особенности деревья, положительно влияют на микроклимат и являются фильтром, поглощающим из воздуха

пыль и поллютанты, снижающим шумовой фактор. В урбанологии получены многочисленные подтверждения тому, что в стрессовых условиях техногенного загрязнения устойчивость древесных растений ослабевает [1–2].

Для оценки состояния городской растительности в г. Черногорске сочетаются наземные исследования с дистанционным зондированием [3].

Цель исследования. Получение данных о количественных, качественных и пространственных характеристиках зеленых зон г. Черногорска на основе флористических и спутниковых данных.

Объекты и методы исследования. Черногорск – второй по величине город после Абакана в Республике Хакасия. Его площадь составляет 117,9 км². Город расположен в степной части Минусинской котловины, на высоте 260 м над уровнем моря. Население города составляет 76259 человек (по состоянию на 01.07.2014).

Уровень загрязнения в г. Черногорске оценивается как очень высокий: комплексный индекс загрязнения атмосферы для оценки суммарного загрязнения по городу по 5 показателям составил >14. Преобладающий вклад в высокий уровень загрязнения внесли повышенные среднегодовые концентрации бенз(а)пирена, формальдегида, NO_x, CO, взвешенных веществ (ВВ). При этом самым опасным загрязнителем является бенз(а)пирен: среднесуточная ПДК – 63,6 % (в 2015 г. – 54,5 %) (это превышает норматив в 5,5 раза), для сравнения по CO – 1,2 % (в 2015 г. – 1,0 %), по ВВ – 1,5 % в 2016 г. (1,0 % в 2015 г.) [4].

Территория исследования относится к Приабаканскому степному округу (Южно-Минусинская впадина), в пределах которого выделяется Уйбатский равнинно-холмистый солонцеватый район. Для рельефа округа характерно сочетание равнин с холмистыми участками. Климат резко континентальный. Уйбатская степь получает наименьшее количество осадков (<250 мм в год). Зональные степные почвы занимают 56,1 % округа, в том числе каштановые 7,0 % и черноземы (при преобладании южных черноземов) 49,1 %. Характер растительного покрова города Черногорска определяется расположением в степном природном комплексе и

антропогенным воздействием. На территории города естественная растительность сохранилась отдельными незначительными фрагментами. В окрестностях города естественные степные и луговые сообщества занимают значительные площади. В районе исследования распространены мелкостебельные и крупностебельные степи. Мелкостебельные формации широко представлены в наиболее сухих местообитаниях. Эдификаторами их являются *Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb., *F. valesiaca* Gaudin, *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn. Кроме перечисленных злаков постоянно присутствуют *Carex duriuscula* С.А. Mey., *C. pediformis* С.А. Mey., *Veronica incana* L., *Galium verum* L., *Artemisia frigida* Willd. и др. Крупностебельные степи распространены реже мелкостебельных. Они связаны с более увлажненными местообитаниями и представлены ковыльными (*Stipa capillata* L.) и овсяными (*Helictotrichon altaicum* Tzvelev) формациями. Солонцеватые степи распространены на

засоленных почвах и представлены деградированными сообществами востречовых (*Leymus ramosus* (Trin.) Tzvelev) степей. В окрестностях города встречаются также остепненные солончаковые луга. Злаковые полидоминантные солончаковые луга расположены на луговых слабозасоленных почвах с эдификаторами *Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link, *Agrostis stolonifera* L., *Festuca rubra* L. s. str. и др. [5].

Основу работы составляют материалы флористических полевых исследований 7 зеленых зон, собранные в 2015–2016 году маршрутным методом [6] (рис.1). Для работы использовали безоблачные спутниковые изображения Landsat 8. Оценку фотосинтетической массы проводили по вегетационному индексу – normalized difference vegetation index (NDVI). Для определения содержания воды в растительности применяли индекс влагосодержания – normalized difference water index (NDWI) [7].

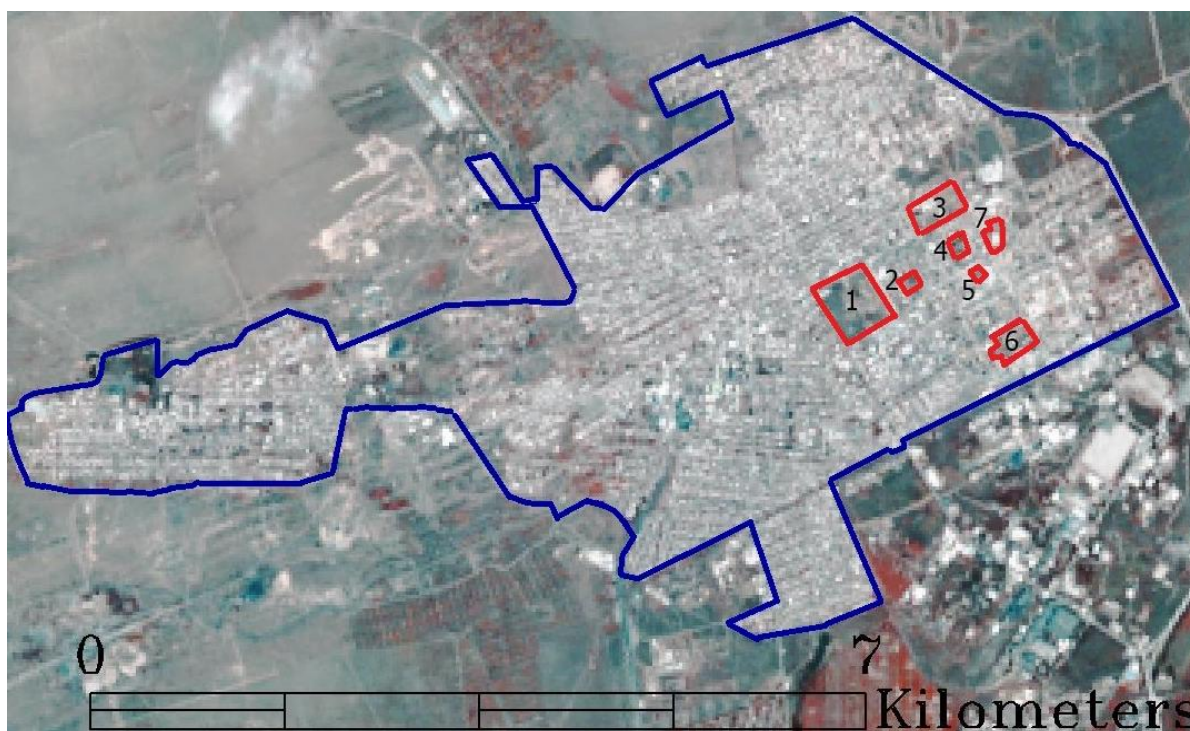


Рис. 1. Пространственное размещение стационарных участков – зеленых зон в г. Черногорске: 1 – городской парк; 2 – сквер возле станции юных туристов; 3 – Новогодняя площадь; 4 – сквер возле д/с «Ручеек»; 5 – сквер возле «MultiDom»; 6 – сквер у школы № 19; 7 – двор школы № 20

Результаты исследования и их обсуждение. Флора парка и скверов г. Черногорска насчитывает 142 вида высших

сосудистых растений, относящихся к 33 семействам и 105 родам. В составе флоры исследуемой территории самой многочисленной систе-

матической группой является группа покрытосеменных растений. Она включает в себя 32 семейства (97,0 % от общего числа семейств), 101 род (96,2 % от общего числа родов) и 138 видов (97,2 % от общего числа видов). Среди покрытосеменных растений выделяют однодольные и двудольные растения. Однодольных было обнаружено 3 семейства (9,1 % от общего числа семейств), включающих 15 родов (14,3 %) и 18 видов (12,7 %). Двудольные включают в себя 29 семейств (87,9 %), 86 родов (81,9 %) и 120 видов (84,5 %). В число голосеменных растений входит одно семейство – *Pinaceae* (3,0 %), 4 рода (3,8 %): *Abies*, *Larix*, *Picea*, *Pinus* и 4 вида (2,8 %): *Abies sibirica* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sylvestris* L.

Десять ведущих семейств составляют 81,1 % видового состава флоры парка и скверов города

Черногорска. Ведущее положение принадлежит крупнейшим семействам *Asteraceae* (17,6 %), *Poaceae* (11,3 %), *Rosaceae* (10,6 %), *Fabaceae* (10,6 %). Семейство *Brassicaceae* распространено благодаря деятельности человека, в его составе 8,5 % видов от общего числа флоры.

Преобладающей биоморфологической группой являются травянистые поликарпики, в составе которых 74 вида (52,1 % от общего числа видов). Монокарпические растения представлены 38 видами (26,8 %). Дендрофлора города Черногорска насчитывает 30 видов (21,1 %), которые относятся к 11 семействам и 23 родам.

Также были определены площади зеленых зон в пределах города на основе данных Landsat 8, с пространственным разрешением 15 м (табл.).

Площади и значения интегральных спектральных показателей зеленых зон г. Черногорска

Зона	Площадь зоны, км ²	Процент от площади города	NDVI	NDWI
Городской парк	0,27	1,17	12,3	10,2
Сквер возле Станции Юных Туристов	0,02	0,09	14,2	11,4
Площадь Новогодняя	0,12	0,51	13,3	10,6
Сквер возле д/с «Ручеек»	0,02	0,08	11,4	8,2
Сквер возле «MultiDom»	0,01	0,05	14,2	11,7
Сквер у школы № 19	0,07	0,30	13,8	10,8
Двор школы № 20	0,03	0,14	11,8	9,0

Также была определена общая площадь застроенной городской зоны Черногорска (23,531 км²). Самую большую площадь среди зеленых зон занимает городской парк (1,17 %), на втором месте площадь Новогодняя (0,51 %). Следует отметить, что 30 % территории приходится на частный сектор. Городские застройки расположены в основном в северо-западной части Черногорска. Определены мелкие зеленые зоны улиц и частного сектора.

Состояние растительности можно определить дистанционным способом по различиям в

спектральной отражательной способности. Для этой цели используют NDVI, принимающий значения от -1 (отсутствие растительности) до +1. Важнейшим показателем для степных и городских растений, находящихся в условиях нехватки воды, является также NDWI, который отражает состояние водного режима (содержание воды и транспирацию). В связи с этим был проведен анализ спектральных индексов на территории исследования (рис. 2).

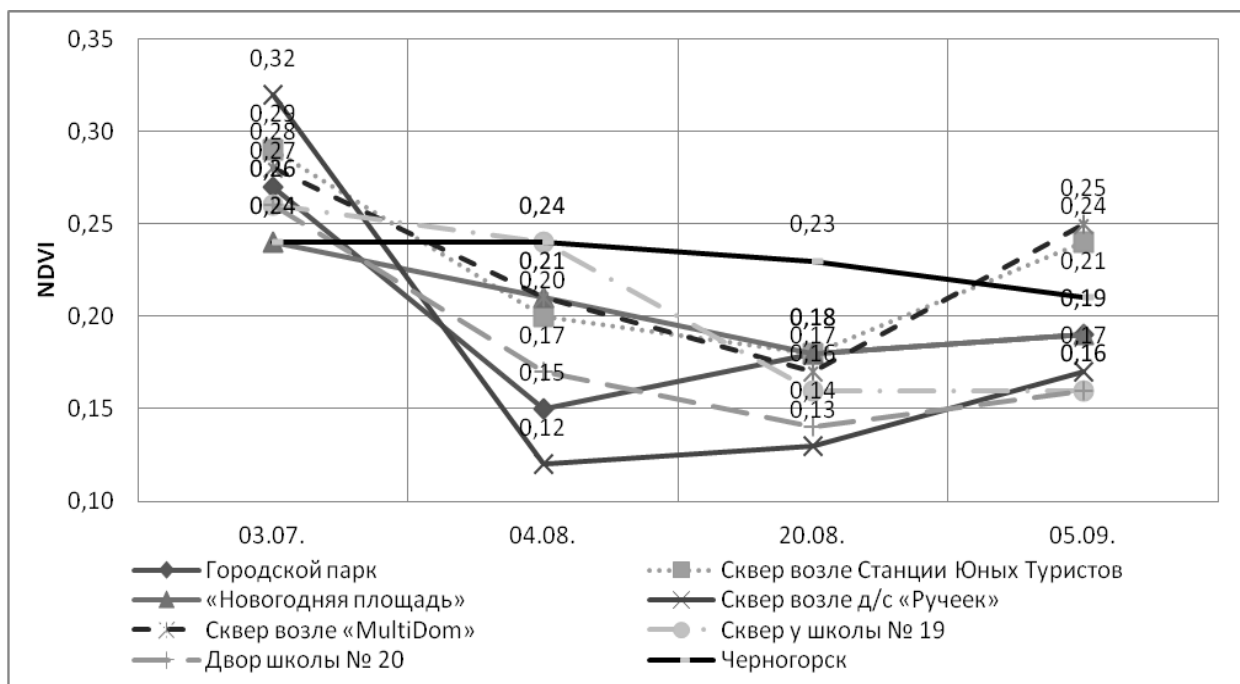


Рис. 2. Сезонная динамика вегетационного индекса зеленых зон города Черногорска за вегетационный сезон 2016 г.

Как видно из рисунка 2, в начале июля 2016 г. показатели вегетационного индекса зеленых зон наиболее высокие (0,26–0,32). Самые высокие показатели у сквера возле детского сада «Ручеек». В начале августа наблюдали снижение параметра до 0,15–0,21, что было связано с газонокосением. В дальнейшем данная тенденция сохранилась, лишь территории парка и сквера около детского сада «Ручеек» немного увеличили показатели в середине августа.

К началу сентября растения увеличивали фотосинтезирующую массу, в особенности зеленые зоны сквера «Multidom» и Станции Юных Туристов. В целом для города вегетационный индекс плавно снижался с 0,23 до 0,19.

Большинство из исследованных зеленых зон испытывают недостаток влаги по данным индекса NDWI. Индекс влагосодержания показал высокую степень положительной корреляции ($r=0,94$) с данными NDVI и имел те же сезонные особенности, но большей амплитуды (от 0,05 до 0,26).

Для сопоставления показателей были проанализированы данные залежной растительности на юго-западной окраине г. Черногорска за 2012 г. [8]. В середине вегетационного сезона 2012 г. показатели NDVI находились в пределах от 0,30–0,35 до 0,5–0,6.

В 2016 г. проанализированы метеоусловия в г. Черногорске (eurometeo.ru). Среднесуточная температура самого жаркого месяца (июль) была выше среднегодовых значений (20,3 °C против 17,9 °C), в июне показатель составил 18,6 °C, в августе 16,9 °C. За вегетационный период выпало 133,7 мм осадков. Благоприятным периодом являлся теплый и влажный август (80,1 мм), что подтверждается вторичным ростом NDVI.

Общую продуктивность фитоценозов зеленых зон оценивали по интегральной сумме значений кривой спектральных индексов (см. табл.). Наибольшей продуктивностью (14,2) характеризовался сквер возле Станции Юных Туристов и сквер возле «MultiDom», на втором месте площадь Новогодняя и сквер у школы № 19 (13,3 и 13,8 соответственно). Наименьшие значения имеет сквер у детского сада «Ручеек» (11,4). В целом различия по продуктивности и содержанию воды незначительные.

Выводы. Зеленые зоны имеют различия в сезонной динамике спектральных индексов и их интегральных показателей, связанные с их видовым составом, проективным покрытием, жизненным и фенологическим состоянием. Для сохранения функции биофильтра у городской растительности необходимо подбирать породы и

виды растений, устойчивые для засухи и фактора загрязнения, также необходимо проводить регулярные мероприятия по сохранению продуктивности растений в парковых зонах, увеличивать флористическое биоразнообразие. Спектральные индексы в целом подтвердили данные наземных исследований и позволили выявить отдельные закономерности сезонного развития растительности зеленых зон на территории исследуемых стационарных участков, определить наиболее продуктивные экосистемы и установить корреляцию между спектральными индексами.

Литература

1. Байкалова Т.В., Байкалов П.С., Коротченко И.С. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове, листьях березы под воздействием промышленности г. Красноярск // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 5. – С. 123–130
2. Зубарева Е.В. Влияние автотранспорта на содержание аскорбиновой кислоты в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях г. Красноярск // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 5. – С. 131–136.
3. Исследование города на основе космических снимков / Г.Я. Маркелов, С.М. Бурков [и др.]; под ред. Г.Я. Маркелова. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 157 с.
4. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2016 году» / ред. О.С. Лушников, А.А. Андреева, Д.В. Залутский [и др.]. – Абакан, 2017. – С. 14–19
5. Растительный покров Хакасии / А.В. Куминова, Г.А. Зверева, Ю.М. Маскаев [и др.] / отв.ред. А.В. Куминова. – Новосибирск: Наука, 1976. – 423 с.
6. Толмачев А.И. Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 195.
7. Chen D., Huang J., Jackson T.J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands // Remote Sensing of Environment. – 2005. – V. 98. – P. 225–236
8. Жукова Е.Ю., Андрианова Е.А. Характеристика растительности залежных земель окрестностей г. Черногорска Республики Хакасия // Вестник Хакас. гос. ун-та им. Н.Ф. Катанова. – 2013. – № 3. – С. 9–13.

Literatura

1. Bajkalova T.V., Bajkalov P.S., Korotchenko I.S. Soderzhanie tjazhelyh metallov v pochvennom pokrove, list'jah berezy pod vozdejstviem promyshlennosti g. Krasnojarska // Vestnik KrasGAU. – 2017. – № 5. – S. 123–130
2. Zubareva E.V. Vlijanie avtotransporta na soderzhanie askorbinovoj kisloty v hvoe sosny obyknovennoj (*Pinus sylvestris* L.) v uslovijah g. Krasnojarska // Vestnik KrasGAU. – 2017. – № 5. – S. 131–136.
3. Issledovanie goroda na osnove kosmicheskikh snimkov / G.Ja. Markelov, S.M. Burkov [i dr.]; pod red. G.Ja. Markelova. – Habarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2015. – 157 s.
4. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii okruzhajushhej sredy Respubliki Hakasija v 2016 godu» / red. O.S. Lushnikova, A.A. Andreeva, D.V. Zalutskij [i dr.]. – Abakan, 2017. – S. 14–19
5. Rastitel'nyj pokrov Hakasii / A.V. Kuminova, G.A. Zvereva, Ju.M. Maskaev [i dr.] / otv.red. A.V. Kuminova. – Novosibirsk: Nauka, 1976. – 423 s.
6. Tolmachev A.I. Metody sravnitel'noj floristiki i problemy florigeneza. – Novosibirsk: Nauka, 1986. – S. 195.
7. Chen D., Huang J., Jackson T.J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands // Remote Sensing of Environment. – 2005. – V. 98. – P. 225–236
8. Zhukova E.Ju., Andrianova E.A. Harakteristika rastitel'nosti zaleznyh zemel' okrestnostej g. Chernogorska Respubliki Hakasija // Vestnik Hakas. gos. un-ta im. N.F. Katanova. – 2013. – № 3. – S. 9–13.