

СЕМАНТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОПИСАНИЙ ЛАНДШАФТНЫХ ФОТОСНИМКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДРЕВЕСНОЙ И КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОГОРИЙ УРАЛА

© 2010 Ю.В. Шалаумова

Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

Поступила в редакцию 06.05.2010

Проведен анализ повторных ландшафтных фотоснимков и их описаний. Выделены основные параметры и их значения, используемые при описании фотографий ландшафтов, отображаемые в виде семантической сети. Представлены основные этапы создания Интернет-приложения, обеспечивающего удобный и быстрый доступ к базе данных исторических и современных ландшафтных фотографий и их описаний для решения различных задач. Посредством разрабатываемой информационной системы возможно ведение долгосрочного мониторинга состояния древесной и кустарниковой растительности для высокогорий Урала.

Ключевые слова: *мониторинг высокогорной растительности, повторные ландшафтные фотоснимки, семантическая сеть, база данных ландшафтных фотоснимков, семантический поиск*

В экологии успешно применяется метод оценки состояния растительных сообществ по наземным ландшафтным фотоснимкам. Особенно перспективно сопоставление повторных фотографий, сделанных из одной точки земной поверхности в разное время. Метод сравнения разновременных фотографий используется при анализе динамики различных объектов, например, при оценке влияния климатических и антропогенных факторов на состояние растительных сообществ и смещение границ их распространения [10, 11, 13, 14]. В нашей стране впервые этот подход был применен в работах С.Г. Шиятова [6] для характеристики динамики высокогорной растительности на Южном Урале. Изучение реакции растительности на изменение климата, произрастающей в экотоне верхней границы леса на территории Урала, по историческим и современным ландшафтным фотоснимкам также описано в более поздних работах [8, 12]. Поскольку растительность на верхнем пределе распространения чутко реагирует на внешнее изменение параметров среды, она является прекрасным объектом для изучения динамики состава, структуры, пространственного положения растительных сообществ и ряда других параметров [2, 8].

Среди используемых подходов к использованию ландшафтных фотоснимков можно выделить: методы анализа изображений через измерения смещения границ различных объектов по фотографиям [9, 13]; словесное описание объектов и их динамики, зафиксированной на повторных снимках посредством оценки отличий,

которые можно представить набором количественных и качественных параметров [2, 8, 10, 12, 14]; а также применение разновременных фотоснимков для иллюстрации изменений отображенных на них объектов [5].

Характеристика состояния растительности, получаемая по отдельным фотографиям, как и оценка динамики ее состояния, осуществляемая путем сопоставления повторных снимков, (независимо от используемого подхода) базируется на ряде параметров, варьирующихся в зависимости от целей исследования, которые в совокупности можно представить в виде онтологии некоторой предметной области. Онтологии, описывающие непосредственно природные экосистемы, например приведенные в работе [1], не могут быть применены в полной мере, поскольку необходимо учитывать специфику наземных ландшафтных фотоснимков, посредством которых экосистемы отображаются. С одной стороны, описание фотографий по сравнению с описанием реальных объектов, процессов и явлений сопровождается неизбежными искажением и потерей информации, связанными с переводом объектов из трехмерного пространства в двумерное, фиксированным в некотором диапазоне масштабам изображенных объектов, что усугубляется зачастую низким качеством исторических снимков [8]. С другой стороны, у ландшафтных фотоснимков имеется ряд преимуществ, связанных с наглядностью и исторической документальностью состояния растительности на локальном уровне [8], возможностью ее дистанционного анализа и оценки динамики, в том числе для труднодоступных территорий, например, горных массивов Урала, по которым накоплено большое количество фотографического материала. Это обуславливает воспроизводимость

Шалаумова Юлия Валерьевна, ассистент кафедры прикладной физики и биофизики. E-mail: yulyash@gmail.com

исследований, не зависящих от времени проведения, и возможность произвольного пополнения перечня анализируемых параметров.

Таким образом, можно сделать вывод, что на основании ландшафтных фотоснимков можно осуществлять мониторинг древесной и кустарниковой растительности горных районов Урала. Поскольку фотографии фиксируют состояние объектов во времени, то сопоставление разновременных снимков воссоздает примерное протекание процессов на данной территории, точность описания которых напрямую связана с частотой проведения съемки. Аналогичные работы по ведению мониторинга на основе фотоснимков проводятся для гор Швеции [11, 15] с акцентированием на оценке последствий изменений климата для высокогорной растительности, или в США [9] для анализа изменчивости *Salix* spp. Сегодня в России и зарубежом ведется активная работа по созданию обобщающих баз данных по биоразнообразию для сохранения и представления накопленной информации в едином формате, которые реализуются в виде электронных библиотек и информационно-поисковых систем для них [1, 4]. Для ряда задач при этом необходима оценка пространственной динамики изучаемых объектов, которая может быть представлена посредством карт земной поверхности, получаемых при помощи аэро- и космической съемки. Поскольку наземные, аэро- и космоснимки являются взаимодополняющими методами [8], обладающими своей спецификой, интересны попытки их совместного применения. Таким образом, ландшафтные фотоснимки, соотнесенные по координатам точек съемки с космоснимками можно использовать для оценки состояния растительности и характеристики ее пространственно-временной динамики. Актуальность темы определяется противоречием между большим и постоянно увеличивающимся количеством ландшафтных фотоснимков и их практической недоступностью для многих специалистов. Последнее вызвано как разрозненностью и неупорядоченностью архивов, так и значительной трудоемкостью подбора необходимых исследователю снимков для решения различных задач.

Цель работы – долговременное и систематизированное хранение ландшафтных фотоснимков высокогорий Урала и их описаний, фиксирующих состояние растительности и ее динамику, организация удобного и быстрого доступа к ним широкому кругу пользователей (в первую очередь, экологов и биологов) для решения разнообразных по целям задач.

Задачи исследования: построение многоцелевой модели представления структуры описания ландшафтных фотоснимков, включающей атрибуты, их значения и связи между ними; проектирование и реализация фотоландшафтной базы данных; разработка Интернет-ориентированного приложения, позволяющего осуществлять

мониторинг древесной и кустарниковой растительности горных районов Урала по ландшафтным фотографиям.

Объекты и методика исследований. Объектом исследования является архив исторических и современных ландшафтных фотоснимков различных природных провинций Урала. Создание архива, содержащего более 10 000 фотографий за период 1905-2008 гг., стало результатом работы группы исследователей под руководством проф. С.Г. Шиятова, которая продолжается в настоящее время. Для большей части фотографий определены координаты точек съемки с метровой точностью и даты съемки. Для горных массивов Полярного Урала (массив Рай-Из), Северного Урала (Тылайско-Конжаковско-Серебрянский горный массив) и Южного Урала (массив Ирмель) имеются серии повторных ландшафтных фотографий.

Урал является перспективным регионом для изучения, с одной стороны, состояния растительных сообществ, благодаря значительной меридиональной протяженности и связанным с этим большим разнообразием природных зон и высотных поясов, с другой стороны – динамики лесных и лесотундровых фитоценозов высокогорий, поскольку для растительности, произрастающей на верхнем пределе своего распространения, основными лимитирующими факторами являются климатические [2, 8], вариабельность которых проявляется в том числе и в этом регионе. Установлено, что за период с 1907 по 2006 гг. для Европейской части России и Западной Сибири, на границе которых расположены горные массивы Урала, значения регионально осредненной средней годовой температуры приземного воздуха выросли на 1,19 и 1,5⁰С соответственно [5]. При этом необходимо отметить, что антропогенная нагрузка в районах Полярного Урала [8] и Южного Урала [3] незначительна. По-видимому, зафиксированное в последнем столетии на территории горных районов Урала значительное увеличение густоты, сомкнутости крон и продуктивности древостоев в экотоне верхней границы леса, а также увеличение степени его облесенности связано именно с повышением температуры приземного воздуха [3, 7, 8].

При выборе метамодели представления семантических описаний ландшафтных фотоснимков учитывался ряд требований, связанных со спецификой предметной и проблемной областей, среди которых принципиальная неоднозначность характеристик, употребляемых пользователями различных специальностей и квалификаций, высокая степень субъективности в определении значений атрибутов, необходимость пополнения и модификации перечня атрибутов, наличие базовых концептов с заданными характеристиками и конкретных экземпляров описания. Для описания состояния растительных сообществ по ландшафтным фотоснимкам и характеристики их динамики, осуществляемой путем

анализа сопоставления разновременных фотографий, на метауровне в качестве модели была выбрана семантическая сеть. Под семантической сетью понимается смешанный многодольный граф, состоящий из вершин – понятий, связанных дугами и ребрами различных типов. Для реализации метамодели применялась структурированная система справочников типа «переменная-значение», фиксирующая атомарные объекты, и упорядоченные последовательности переменных (с наборами атрибутов) для отображения процессов, при этом описание фотоснимков строится на основе справочников с максимальной 3-уровневой иерархией. Основой сформированной семантической сети описаний стали предоставленные экспертами термины для характеристики ландшафтных фотографий, результаты анализа встречаемости терминов в описаниях повторных фотоснимков Полярного Урала, сделанных С.Г. Шиятовым [8], дополненные по специализированным литературным источникам. Ниже приведен пример характеристики повторных фотоснимков, в котором курсивом выделены ключевые термины и величины, составляющие внутрисистемное описание снимков: «*Фотографирование производилось с восточного склона вершины 362,6 м. На переднем плане изображен облесенный юго-восточный выступ г. Сланцевой, за которым видна ложбина, по которой течет ручей Сенька-Шор. Сопоставление этих снимков показывает, что за сравнительно короткий промежуток времени (36 лет) произошли впечатляющие изменения в сомкнутости крон и густоте древостоев. Многие участки редколесий превратились в лесные сомкнутые сообщества. Степень облесенности склонов увеличилась с 50 до 70%, а средняя высота древостоев увеличилась на 2-3 м*» [8].

Результаты. Извлечение и представление описания ландшафтных фотоснимков. На первом этапе были выделены термины, с помощью которых описываются ландшафтные фотографии. Затем, на втором этапе создания семантической сети описаний ландшафтных фотоснимков была построена модель концептуальных связей данных, которая отображает перечень выявленных понятий и иерархию отношений между ними. Следующим шагом стало установление типов связей между терминами. Анализ полученных результатов позволил выявить два типа описаний – характеристики отдельных фотоснимков и процессы, зафиксированные на изображениях при сопоставлении повторных снимков, связанные с динамикой растительности. Таким образом, характеристики отдельных фотоснимков были представлены структурированной системой справочников типа «переменная-значение», а процессы – структурами из последовательностей переменных с наборами значений, схожими с предложениями естественного языка.

Описанию верхнего уровня соответствуют следующие группы параметров (общее число справочников на данный момент составляет 131): характеристика снимка, условия съемки, изображенные объекты и процессы, зафиксированные при сопоставлении повторных фотоснимков. Изображенные объекты далее подразделяются на водные, эдафические, орографические, фитоценоотические, характеризующие отдельные растения, ландшафтные участки, объекты искусственного происхождения. Процессы фиксируют изменения древесной и кустарниковой растительности и их сообществ; трансформацию типов растительных сообществ; пространственные смещения границ фитоценозов; изменение условий, определяемое опосредованно методами фитоиндикации [2]; а также облесение территории и другие, более абстрактные процессы, отнесенные к этой категории.

На содержательном уровне характеристики фотоснимков включают такую категорию описания как местоположение объекта, имеющую сквозное положение по отношению к выделенным группам параметров. В ряде задач у пользователей может возникнуть необходимость позиционирования фотографий на местности (для случая интернет-приложения, представляемого картой). Характеристика местоположения – это многозначное понятие, и в работе нами выделено несколько смыслов его употребления. Для описания местоположения объекта также разработаны структуры из последовательностей атрибутов с наборами значений, частично пересекающиеся с полученными справочниками, которые сгруппированы по категориям относительно объектов: водных, орографических, искусственных, элементов растительных сообществ, другой точки съемки.

Классификация связей между атрибутами описания может быть представлена следующим образом:

1. Относящиеся к описанию объектов на изображении (родовидовые, партитивные, синонимические, ассоциативные, абстрактное-конкретное).
2. Относящиеся к описанию процессов (каузальные, совместные).
3. Характеризующие местоположение (в рельефе, относительно других объектов; на фотографии относительно других объектов; относительно самой фотографии; относительно масштабного разграничения изображения).

Для апробирования разработанной семантической сети описаний на основании полученных терминов и связей между ними были охарактеризованы 18 групп повторных фотоснимков Южного Урала, фиксирующих до трех временных срезов.

Организация хранения, поиска и предоставления ландшафтных фотоснимков и их описаний. На основании полученной семантической сети описаний ландшафтных фотоснимков была разработана формальная модель

их представления в базе данных. Выделенные для фотографий атрибуты описания представляют собой совокупность числовых, псевдоциловых (шкалированных) данных и вербальных характеристик. Объекту описания сопоставляется структурированный набор переменных с заданными областями допустимых значений. Переменные, образующие описание фотоснимка определенного класса, связаны системой «обусловленностей» – утверждений о взаимной обусловленности принадлежности значений переменных некоторым подмножествам множеств допустимых значений. С содержательной стороны одна обусловленность фиксирует взаимосвязи между возможными сочетаниями значений пары признаков фотоснимков и позволяет осуществлять логический вывод. С каждой фотографией может быть ассоциирован набор обусловленностей, который можно считать зафиксированной на формальном уровне системой семантических связей между признаками снимка, отображающей представление пользователя о смысловых связях между возможными сочетаниями значений признаков снимков одного класса. Таким образом, конкретному объекту на изображении (экземпляру объекта) соответствует набор значений всех или части переменных образа и список активизированных обусловленностей. Полученная двухуровневая формальная модель представления описаний и управления логическим выводом (первый уровень – набор описаний объектов, второй уровень – конкретные экземпляры) нашла отражение в структуре фотоландшафтной базы данных, которая была спроектирована и реализована в системе управления базами данных MySQL.

Для обеспечения доступа к базе данных разрабатывается Интернет-приложение с функциями семантического поиска, ввода в базу данных новых фотоснимков и их описаний, модификации существующих описаний, вывода результатов в виде набора фотоснимков, которые позиционируются на карте. В данной работе семантический поиск – это процесс, на первом шаге которого интеллектуальная система пытается «понять», какие фотографии нужны пользователю и выдает соответствующий набор, состав которого при необходимости уточняется в процессе последующего диалогового взаимодействия. Предоставляемая пользователю возможность формулирования задач из достаточно широкой предметной области обеспечивается, в первую очередь, объемом и структурированностью внутрисистемного тезауруса, использование терминов из которого обуславливает автоматическое распознавание содержания. Семантический поиск в Интернет-приложении предполагает формирование набора предъявляемых пользователю фотографий в соответствии с его целями, описанием его задачи. В состав запроса может быть включена формулировка задачи/цели, для которой нужны фотографии,

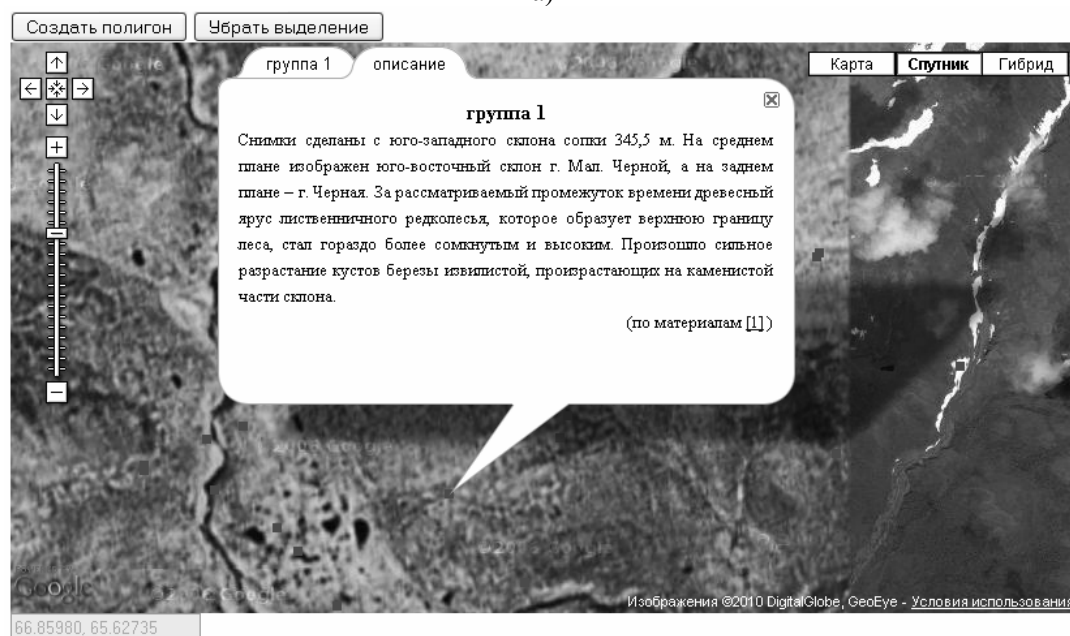
сделанная на основе понятий семантической сети описаний, работа с которой осуществляется посредством навигации по иерархически упорядоченным справочникам. Пользователь формирует текущее описание, формально определяемое как совокупность пар: имя переменной – значение переменной. Имя переменной связано с названием справочника и таблицей его синонимов. Ввод значения атрибута осуществляется либо выбором из пополняемого перечня, либо выбором или вводом диапазона или значения с формальным контролем по области допустимых значений. При обработке поискового запроса он будет автоматически расширен на основе задействованных обусловленностей. Как сам набор справочников, так и перечни возможных значений, диапазонов в справочниках, являются пополняемыми.

Результатом сопоставления текущего описания фотоснимка, поступившего от пользователя, с набором описаний фотоснимков в базе данных является набор фотографий, разнесенных по соответствующим участкам земной поверхности, но сделанных в разное время. На данный момент разработаны два модуля: во-первых, модуль вывода на карту (предоставленную геосервисом Google Map API) точек съемки, соответствующих им повторных снимков и их описаний (<http://servicetechno.com/auth/landscape/index.php>, браузер Mozilla Firefox). Повторные фотоснимки сгруппированы в зависимости от изображенных объектов, видимых с одной точки по различным направлениям. На вкладках информационного окна для каждой группы приводится краткая аннотация к фотоснимкам (рис. 1а) и на последней вкладке – более детальное описание изображенных объектов и изменений, зафиксированных при сопоставлении снимков одной группы (рис. 1б).

Во-вторых, реализован модуль аутентификации пользователей с возможностью занесения в базу данных фотоснимков и указанием параметров точки съемки, а также произвольным описанием изображения (<http://servicetechno.com/auth/login.php>). Продолжается работа по реализации предлагаемого подхода, связанного с семантическим поиском. Подготовлены данные для внутрисистемного представления и описания фотоснимков в виде справочников, описанных выше, разработана формальная модель поиска снимков по их описаниям, включающая систему обусловленностей и позволяющая осуществлять логический вывод. Тестирование фотоландшафтной базы данных и функционала интерфейса проводится по набору данных для мониторингового полигона, расположенного на Полярном Урале. Результаты можно посмотреть на картах Интернет-приложения, размещенного на хостинге, любезно предоставленном ООО «Передовые сервисы и технологии».



а)



б)

Рис. 1. Тестовый район на Полярном Урале (маркерами обозначены точки съемки). Группа повторных фотоснимков, полученных за период с шестидесятых годов XX века до начала XXI века) (а).

Описание изображенных объектов и изменений, зафиксированных при сопоставлении снимков (б)

Выводы: полученные семантические структуры позволяют описывать ландшафтные фотоснимки, фиксируя состояние и динамику высокогорной растительности, и обеспечивают их многоцелевое использование. Разрабатываемая информационная система позволяет увеличить скорость доступа к ландшафтным снимкам и их описаниям, используемым для решения конкретной прикладной задачи. Дополнительным преимуществом предлагаемого подхода является визуализация пространственного положения фотографий и изображаемых объектов на карте, необходимость которой возникает при решении

ряда задач. На основе разрабатываемой системы, хранящей и предоставляющей в открытом доступе повторные ландшафтные фотоснимки, возможно ведение долгосрочного мониторинга состояния древесной и кустарниковой растительности высокогорий Урала.

Автор выражает благодарность И.В. Шелепову за помощь в разработке отдельных элементов картографического модуля.

Работа проводится при финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-04-00208-а), фонда «Научный потенциал» (проект № 145), фонда содействия малым формам предприятий в научно-технической сфере (государственный контракт № 5881p/8299).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Биоразнообразие и динамика экосистем: информационные технологии и моделирование / отв. ред. В.К. Шумный, Ю.И. Шокин, Н.А. Колчанов, А.М. Федотов; СО РАН, Ин-т цитологии генетики [и др.]. – Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2006. 648 с.
2. Горчаковский, П.Л. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях / П.Л. Горчаковский, С.Г. Шиятов. – М.: Наука, 1985. – 208 с.
3. Капралов, Д.С. Пространственно-временная динамика верхней границы леса на Южном Урале / Д.С. Капралов, С.Г. Шиятов, В.В. Фомин, Ю.В. Шалаумова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2007. – Вып. 180. – С. 59-68.
4. Милородов, Ю.И. Информационно-аналитические системы для задач биоразнообразия / Ю.И. Милородов, А.М. Федотов // Растительный мир Азиатской России. – 2009. – № 2 (4). – С. 1-6.
5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – М.: 2008. – 90 с.
6. Шиятов, С.Г. Опыт использования старых фотоснимков для изучения смены лесной растительности на верхнем пределе ее произрастания // Флористические и геоботанические исследования на Урале. – Свердловск, 1983. – С. 76-109.
7. Шиятов, С.Г. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале / С.Г. Шиятов, М.М. Терентьев, В.В. Фомин // Экология. – 2005. – №2 (36). – С. 69-75.
8. Шиятов, С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 216 с.
9. Boyd, C. A Photo-Based Monitoring Technique for Willow Communities / C. Boyd, K. Hopkins, T. Svejcar // Wildlife Society Bulletin. – 2006. – Vol. 34(4). – P. 1049-1054.
10. Byers, A.C. Contemporary landscape change in the Huascarán National Park and buffer zone, Cordillera Blanca, Peru // Mountain Research and Development. – 2000. – Vol. 20, No. 1. – P. 52-63.
11. Kullman, L. One century of treeline change and stability – experiences from the Swedish Scandes // Landscape Online. – 2010. – Vol. 17. – P. 1-31. www.landscapeonline.de
12. Moiseev, P.A. Vegetation dynamics at the treeline ecotone in the Ural highlands, Russia / P.A. Moiseev, S.G. Shiyatov // Alpine Biodiversity in Europe / L. Nagy, G. Grabherr, D.B.A. Thompson. Eds. Ecological Studies. – 2003. – Vol. 167. – P. 423-435.
13. Munroe, J.S. Estimates of Little Ice Age climate inferred through historical rephotography, Northern Uinta Mountains, USA // Arctic, Antarctic and Alpine Research. – 2003. – Vol. 35, No. 4. – P. 489-498.
14. Nusser, M. Change and persistence: contemporary landscape transformation in the Nanga Parbat Region, Northern Pakistan // Mountain Research and Development. – 2000. – Vol. 20, No. 4. – P. 348-355.
15. Oberg, L. Tradgransen som indikator for ekologiska klimateffekter i fjällen. En metodstudie for langsiktig miljoovervakning. Rapport 2008:01. Miljo/Fiske, Miljoovervakning, Lansstyrelserna i Jamtlands och Dalarnas lan., 2008. – 77 p.

SEMANTIC ANALYSIS OF LANDSCAPE PICTURES DESCRIPTIONS FOR MONITORING WOOD AND BUSH VEGETATION OF URALS HIGH MOUNTAINS

© 2010 Yu.V. Shalaumova

Ural State Forest Technical University, Ekaterinburg

The analysis of repetitive landscape pictures and their descriptions is lead. Key parameters and their values used at the description of visual environments photos, displayed in the form of semantic net are allocated. The basic stages of creation the Internet-appendix providing convenient and fast access to a database of historical and modern landscape photos and their descriptions for the decision of various problems are presented. By means of developed information system probably conducting long-term monitoring of condition wood and bush vegetation for Urals high mountains.

Key words: *monitoring of high-mountainous vegetation, repetitive landscape pictures, semantic net, database of landscape pictures, semantic search*