

УДК 551.509.313.31:551.507.362.2

Применение данных спутников Landsat для определения динамики изменения структуры землепользования и дифференциального альbedo территории

Н.А. Калинин, В.А. Шкляев, С.В. Исаков*

*Пермский государственный национальный исследовательский университет
614990, г. Пермь, ГСП, ул. Букирева, 15*

Поступила в редакцию 5.03.2018 г.

С помощью снимков высокого разрешения, полученных со спутников семейства Landsat, решается задача определения динамики изменения структуры землепользования и дифференциального альbedo на примере территории г. Перми в 1987–2013 гг. Показано, что предложенная методика обработки разновременных снимков позволяет качественно и оперативно оценивать изменения подстилающей поверхности города. Выявлено, что антропогенная деятельность является основным фактором изменения структуры землепользования и величины альbedo территории.

Ключевые слова: альbedo, структура землепользования, спутники, Landsat, микроклимат; albedo, land-use patterns, satellites, Landsat, microclimate.

Введение

Информация о нарушениях состояния земной поверхности, вызванных антропогенной деятельностью, приобретает все большую актуальность, особенно в условиях современного изменения климата и проблемы сохранения биоразнообразия.

В течение последних нескольких десятилетий деятельность человека на земле привела к изменению ландшафтов и возникновению негативных экологических последствий, таких как снижение биологического разнообразия, эрозия почв и опустынивание [1–3]. Например, лесные массивы превращаются в пахотные или обрабатываемые земли; большое количество пахотных земель застраивается или преобразуется в земельные участки для использования в городских условиях. Таким образом, антропогенная деятельность ведет к большой фрагментации естественных участков из-за появления дополнительных поверхностей с различными свойствами.

Фактором, определяющим запас тепловых ресурсов деятельного слоя и, как следствие, интенсивность потоков явного и скрытого тепла и собственное излучение земной поверхности, является альbedo. Известно, что точное определение альbedo поверхности имеет важное значение для прогнозирования, проектирования и экосистемного моделирования. Так, в работе [4] показано, что в умеренных широтах, где антропогенным изменениям подверглась

значительная часть земной поверхности, культивация больших площадей лесных и степных земель привела к увеличению альbedo и понижению температуры воздуха вблизи подстилающей поверхности на 0,7 и 1,1 °C летом и зимой соответственно.

Альbedo поверхности земли определяется структурой экосистемы и оптическими характеристиками ее компонентов [5]. При моделировании, как правило, применяется параметризация альbedo путем использования среднего по площади альbedo. Следствием такой параметризации часто является появление ошибок в оценке альbedo [6, 7]. Задача определения альbedo с целью исследования микроклимата по крупномасштабным снимкам видимого диапазона в рамках ГИС-технологий решается не так часто. При этом можно констатировать отсутствие единого методологического подхода к анализу данных дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности.

Помимо определения альbedo по снимкам видимого диапазона, можно также исследовать и временную динамику изменения этого показателя. Для анализа предпочтительнее использовать снимки спутников семейства Landsat – Landsat-5 и Landsat-7, начало функционирования которых датируется 1984 и 1999 гг. соответственно. Единственный ограничивающий фактор широкого использования таких снимков – их пространственное разрешение (30 м – датчики TM и ETM+). Комплексное использование подобных данных и снимков высокого разрешения с других спутников, например QuickBird или GeoEye, дает возможность оценить динамику застройки и развития города.

* Николай Александрович Калинин (kalinin@psu.ru); Владимир Александрович Шкляев (shklyayev@psu.ru); Сергей Викторович Исаков (meteo@psu.ru).

Цифровые изображения земной поверхности в сочетании с геоинформационными системами представляют собой исчерпывающую информацию о характере, скорости и местоположении узловых точек роста и качественного изменения городской территории. Такие данные могут быть извлечены из изображений со спутников семейства Landsat. Они позволяют оценить изменения в окружающей среде в течение долгого времени благодаря достаточной продолжительности непрерывного функционирования спутников, поэтому использование этой информации для исследования динамики пространственных измерений представляется наиболее актуальным.

В настоящей работе с помощью снимков высокого разрешения, полученных со спутников семейства Landsat, решается задача определения динамики изменения структуры землепользования и дифференциального альbedo на примере территории г. Перми в 1987–2013 гг.

Методика исследования

Для задачи исследования динамики изменения альbedo территории из всего многообразия поверхностей можно выделить следующие типы: природные и городские поверхности, жилые и нежилые помещения. К природным следует отнести поверхности водоемов, почвенно-земельный покров, лес, травяной и снежный покровы. К городским – улично-дорожную сеть с покрытиями, имеющими различные характеристики и свойства, открытые площадки, парки. К жилым и нежилым помещениям – крыши и другие части зданий.

На основе такой типизации целесообразно делить поверхности на виды в зависимости от величины альbedo. Группировка поверхностей осуществлялась с учетом общих физико-морфологических свойств объектов. С помощью спутников Landsat съемка проводилась с использованием семи каналов (TM bands). Предлагаемые градации альbedo с информацией о входящих в них видах поверхностей [7–9] представлены в табл. 1.

Таблица 1

Альbedo локальных поверхностей

Градация альbedo, %	Вид поверхности
< 10	Поверхность водоемов
11–15	Улично-дорожная сеть, хвойный и смешанный лес, крыши зданий из темных материалов
16–20	Лиственный лес, почвенно-земельный покров
21–25	Травяной покров
26–30	Крыши зданий из светлоокрашенных материалов
> 30	Крыши зданий из стали, алюминия

В исследовании использовались снимки спутников Landsat-5 (TM) и Landsat-7 (ETM+) в летние месяцы с одинаковым временным интервалом в 13 лет. Они получены с помощью сервисов Google и находятся в открытом доступе. С целью наибольшей со-

поставимости результатов выбирались снимки с приблизительно равными датами съемки: для Landsat-5 июль 1987 г., а для Landsat-7 август 2013 г. и июль 2000 г.

Для классификации характера землепользования и типа естественных поверхностей необходимо учитывать многоканальность датчиков. Таким образом, чтобы максимально повысить точность дешифровки, которая ограничена 30-метровым разрешением каналов съемки, требуется подготовить несколько изображений в ложных цветах (false-color image). Использование основных цветов – красного, зеленого и синего (RGB) – дает возможность подготовки контрольных карт для классификации необходимых поверхностей. Каждый тип поверхности имеет определенную отражающую способность на различных участках электромагнитного спектра. Графически это можно представить в виде кривых спектральной яркости. Например, возможно использование библиотеки USGS Spectroscopy Lab's, в которой содержатся данные спектральной отражательной способности различных поверхностей и представлено более 1300 спектральных кривых. Ход кривых меняется в зависимости от состояния объекта. Можно выделить следующие участки для разных типов поверхностей [10]:

1. Почва. Отражательная способность почвы уменьшается по мере увеличения содержания органического вещества. При увеличении влажности почвы ее отражательная способность также уменьшается на всех длинах волн. Текстура почвы приводит к увеличению отражения с уменьшением размера частиц.

2. Растительность. Спектральное отражение основано на свойствах хлорофилла и поглощении воды листьями. Возможно выделение растительности в зависимости от типа, листовой структуры, содержания влаги и здоровья растений.

3. Искусственные материалы. Бетон, битум и асфальт имеют спектральные кривые, на которых можно отметить увеличение поглощения электромагнитного спектра от видимой части до средней ИК-зоны, но с увеличением срока использования бетонных и асфальтных покрытий бетон становится темнее, а асфальт светлее.

4. Водные поверхности, как правило, имеют высокую отражательную способность в видимой области спектра. Чистая вода имеет меньший коэффициент отражения, чем мутная. Водные поверхности в ближней и средней ИК-зонах сильно поглощают излучение.

Таким образом, опираясь на кривые спектральной яркости, можно планировать, в каких участках спектра целесообразно производить съемку поверхности Земли. Если выполнить космическую съемку местности одновременно в нескольких таких зонах спектра и по серии зональных снимков определить яркость объектов, можно получить аналоги кривых спектральной яркости – спектральные образы объектов. После предварительного тестирования и исходя из предложенной классификации поверхностей по видам были выбраны подходящие комбинации каналов спутников для определения контуров объектов (табл. 2).

Комбинации каналов датчика Landsat Thematic Mapper

Каналы (R-G-B)	Информационное содержание	Назначение
4-3-2	Растительность представлена в оттенках красного, городские районы – темно-голубого и серого цветов, почвы – от темного до светло-коричневого тона. Выделение контуров улично-дорожной сети основано на том, что растительность имеет более высокий коэффициент отражения в ближней ИК-зоне. В этой же зоне находятся земли с отсутствием растительности. Городские районы и дороги обеспечивают максимальный цветовой контраст	Определение контуров дорог и почв
7-4-2	Здоровая растительность имеет ярко-зеленый цвет и может быть насыщенной в сезоны активной вегетации, луга имеют зеленый цвет. Розовые области представляют собой земли с отсутствием растительности, пурпурные и серые – городские районы. Выделение контуров зданий со светлыми покрытиями основано на высоком контрасте данных цветов	Определение контуров зданий
4-5-1	Здоровая растительность представлена в оттенках от красного до желтого. Грунт имеет зеленый и коричневый цвета, городские объекты – серый. Водная поверхность в этой комбинации будет очень темной. Добавление средней ИК-полосы (канал 5) повышает чувствительность обнаружения типов растений и этапов их роста. Возможные ошибки интерпретации – увлажнение почвы, поэтому необходимо проводить уточнение с помощью комбинации 3-2-1	Определение контуров хвойного леса и водной поверхности
5-4-3	Здоровая растительность имеет ярко-зеленый цвет, а почва – лиловые оттенки. Эта комбинация использует канал 5, который представляет сельскохозяйственную информацию и часто применяется для исследований растительности	Определение контуров травяного покрова и лиственного леса
3-2-1	Комбинация «естественного цвета». Используются каналы в видимой части спектра. Часто применяется в городских исследованиях, в данном случае – для уточнения и контроля контуров объектов	Контроль

При наличии информации о расчетных индексах, например NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), их можно использовать для определения зон растительности [11–13]. При отсутствии такой информации достаточно применить описанные в алгоритме комбинации каналов.

Для дешифровки можно использовать следующие программные комплексы: ERDAS Imagine, ESRI ArcGIS, Adobe Photoshop и некоторые другие. Мы применяли ESRI ArcGIS для геоинформационного анализа и Adobe Photoshop для обработки растра и создания растровых слоев. Таким образом, предлагаемая методика дешифровки снимков не использует уже ставший традиционным подход с применением контролируемой классификации на основе ERDAS Imagine [14–16]. Стоит заметить, что при исследовании микроклимата по снимкам низкого разрешения необходима ручная корректировка создаваемых слоев, что во многом снимает различия между ERDAS Imagine и Adobe Photoshop. Такой прием позволяет не использовать атмосферную коррекцию, которой уделяется достаточно внимания при дешифрировании спутниковой информации, как, например, в работах [17, 18], хотя это может приводить к погрешностям в определении типов поверхностей. Также в данном случае требуется обеспечивать историческую преемственность показателей дешифровки в необходимом объеме, которая достигается предлагаемым способом.

После визуальной оценки объектов была определена следующая последовательность их дешифровки (по типам поверхностей): 1 – водная поверхность, 2 – хвойный лес, 3 – лиственный лес, 4 – травяной покров, 5 – почвенный покров, 6 – контуры зданий, 7 – улично-дорожная сеть.

Известно, что травяной и почвенный покровы имеют быстро меняющуюся структуру, которая обуславливает взаимный переход этих типов друг в друга. Следовательно, при разных условиях увлажнения, процессах обработки данных поверхностей, погодных условиях сезона и конкретных датах съемки эти поверхности будут иметь нестабильные значения для дешифровки. Сумма этих поверхностей будет представлять намного более стабильные показатели, слабо зависящие от перечисленных факторов.

Контуров зданий, полученные в процессе дешифровки, представляют собой поверхности, преимущественно имеющие окрашенный слой (окрашенные битум или сталь), т.е. в сравнении с более темными покрытиями на основе гудрона, рубероида и т.п. будут иметь другие свойства.

В связи с пространственным разрешением съемки 30 м улично-дорожная сеть имеет ограничения при дешифровке. Разрешение снимка не позволяет точно разделять улично-дорожную сеть и крыши зданий из обозначенных темных материалов из-за близких свойств, поэтому данные типы поверхности рассматриваются совместно (табл. 1–2).

Контроль выделения объектов представляет собой двухэтапный процесс: визуальный контроль по комбинации каналов 3-2-1 и взаимоконтроль слоев, т.е. взаимное наложение и перекрытие спорных областей с предложенным приоритетом дешифровки, за счет чего достигается непротиворечивость выделения контуров.

Выполнение дешифровки проведено от современных снимков к более ранним в хронологической последовательности. Такой подход дал возможность более качественного контроля выделения контуров. Для этого использовались не только снимки Landsat

в естественном цвете с разрешением 30 м, но и современные снимки с высоким пространственным разрешением 0,5 м со спутников типа GeoEye, WorldView, QuickBird, которые использовались как эталонные.

Первоначальное выделение основано на использовании инструментов, представляющих возможности выбора областей сходной тональности или цвета изображения (например, Color Range). Выбор осуществляется путем определения цвета или цветовой гаммы в рамках существующего выделения части изображения (фрагмента) или всего изображения. Настройки инструментов подобного типа позволяют выделить все пиксели, которые имеют такой же цвет, как пиксель-образец, с допустимыми интервалами по уровням яркости в пределах заданного уровня с определенной погрешностью. Последовательная обработка снимка и оконтуривание поверхностей за счет наложения (overlay) приводит к получению готового дешифрованного снимка (рис. 1, цв. вкладка). На основе полученных слоев объектов производится обработка более ранних снимков; благодаря принципу хронологической последовательности изменений имеющиеся слои контуров объектов являются маркером для дешифровки, т.е. помимо предложенной прямой классификации контуров, возможна и корректировка имеющихся слоев. Решение о выборе метода классификации принимается индивидуально по типу поверхности или его части. Корректировка больше всего подходит для определения границ устойчивых во времени объектов (например, водной поверхности).

Метод контролируемой классификации в ERDAS Imagine имеет общие черты с предлагаемым способом дешифровки с использованием Adobe Photoshop. Контролируемая классификация также опирается на априорное знание района исследований, в результате чего создается новое цифровое изображение, каждый пиксель которого с определенной степенью вероятности соответствует тому или иному классу объектов. Таким образом, при необходимости и соответствующей доработке технических аспектов возможно использование и ERDAS Imagine.

Идентификация и мониторинг изменения структуры землепользования

Идентификация структуры землепользования по предлагаемой методике проводилась на примере Мотовилихинского р-на г. Перми (южная часть, на территории которой происходит активное антропогенное изменение естественных поверхностей). Как и в других развивающихся районах, здесь отмечается рост населения (от 176 тыс. чел. в 2002 г. до 185 тыс. чел. в 2013 г.), ведется активная застройка, влияющая на структуру землепользования. На рис. 2 (цв. вкладка) показана зона исследования. На основе анализа кривых спектральной яркости классифицированы семь типов поверхности. В табл. 3

представлены типы поверхностей и их процентное соотношение относительно общей площади района исследования в 1987–2013 гг.

Таблица 3
Структура землепользования в 1987–2013 гг., %

Тип поверхности (структура землепользования)	Год		
	1987	2000	2013
Водная поверхность	4,83	4,73	4,78
Хвойный лес	14,44	14,06	13,98
Лиственный лес	13,01	11,93	10,25
Травяной покров	30,32	27,12	28,13
Почвенный покров	12,88	12,25	7,22
Крыши из светлых покрытий	4,25	5,65	5,78
Улично-дорожная сеть	20,27	24,26	29,86

Распределение структуры землепользования показывает, что увеличение площади города имело не прерывный характер за весь период исследования. Наибольшая антропогенная активность была отмечена в восточных микрорайонах — активная застройка и создание улично-дорожной сети. В настоящий момент данная тенденция сохраняется: происходит замена естественных поверхностей, занятых лиственными деревьями, травяным и почвенным покрывами, искусственными.

Из рис. 3 видно, что преобладающими структурами территории являются:

- улично-дорожная сеть — около трети территории на 2013 г.;
- почвенно-растительный покров — более трети территории;
- лиственный и хвойный леса суммарно также составляют около трети территории.

Так как хвойный лес находится преимущественно на окраине района, сокращение этой структуры практически не прослеживается. Площади почвенно-растительного покрова и лиственного леса испытывают значительные воздействия, происходит их сокращение. Площадь же улично-дорожной сети увеличивается значительно, причем темпы увеличения также растут.

Для оценки результатов преобразований почвенно-растительного покрова и антропогенных поверхностей были рассчитаны относительные изменения за исследуемый период (с 1987 по 2013 г.) по промежуточным интервалам: с 1987 по 2000 г. и с 2000 по 2013 г. (рис. 4).

При рассмотрении тенденции трансформации земельных участков и их использования отмечено, что в каждом из рассматриваемых периодов произошло поэтапное снижение доли почвенно-растительного покрова (см. рис. 4). Происходит преобразование выделенных природных структур в антропогенные поверхности (постройки и улично-дорожная сеть). Отмечается снижение доли лиственного леса в общей площади рассматриваемой территории. При этом сокращение почвенно-растительного покрова в каждый из подпериодов находится примерно на одном уровне — 3,83 и 4,03% соответственно. Сокращение доли лиственного леса также идет равномерными темпами: 1,08 и 1,68%. В свою очередь,

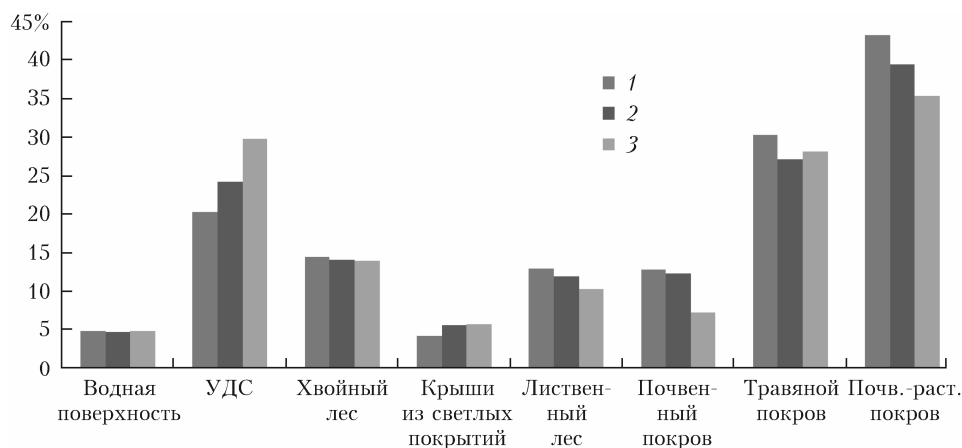


Рис. 3. Изменение структуры землепользования за 1987–2013 гг.: 1 – 1987 г.; 2 – 2000 г.; 3 – 2013 г.

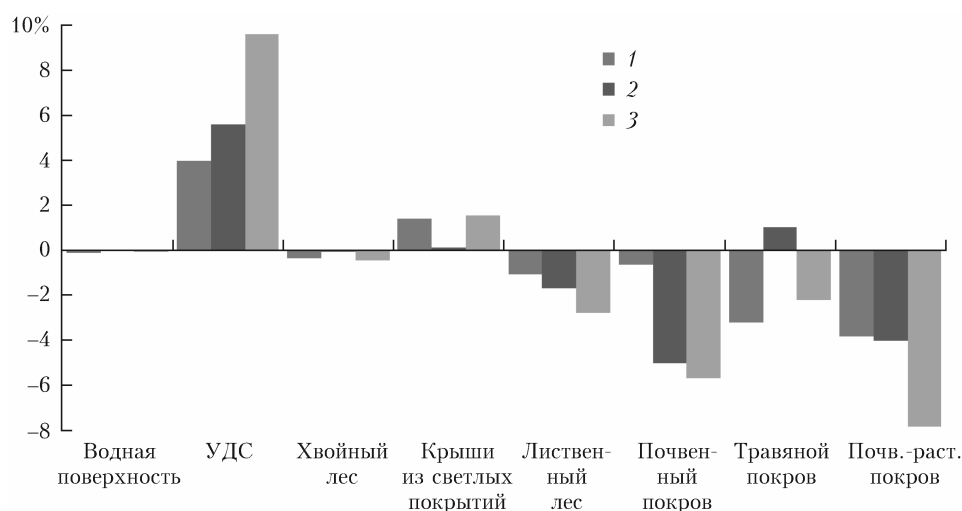


Рис. 4. Относительные изменения в распределении типов поверхностей за 1987–2013 гг.: 1 – 1987–2000 гг.; 2 – 2000–2013 гг.; 3 – 1987–2013 гг. УДС – улично-дорожная сеть

создание улично-дорожной сети происходит более интенсивно: 3,99 и 5,60% соответственно.

К 2013 г. потери преобладающих естественных поверхностей составили 7,85% для почвенно-растительного покрова и 2,76% для лиственного леса. Доля новых антропогенных поверхностей составила 9,59% для улично-дорожной сети и 1,53% для зданий со светлыми покрытиями, что в сумме равно 11,12% территории.

Таким образом, урбанизация в районе исследования происходит равномерными темпами. Для сохранения умеренных темпов преобразования естественной среды необходима четкая стратегия строительства с минимальным воздействием на природные поверхности, что обеспечит устойчивое развитие района и предотвратит дальнейшее «городское расползание» (urban sprawling).

Определение динамики изменения дифференциального альbedo территории

Для определения дифференциального альbedo городской застройки и естественных поверхностей

требуется расчет отдельных его составляющих, разнородных по отражательной способности. После дешифровки снимков на предмет свойств подстилающей поверхности с использованием прикладных модулей ArcGIS были определены пространственные характеристики рассматриваемой территории (табл. 4). Значительную часть территории занимает поверхность, покрытая травой (около 30% в течение периода исследования), доля которой в общей площади неуклонно снижается. Травяной покров (среднее альbedo ~23%) существенно влияет на среднее по площади значение альbedo. Доля антропогенных поверхностей также растет, что способствует росту территорий с низким альbedo.

Таблица 4
Соотношение площадей альbedo локальных поверхностей за 1987–2013 гг., %

Градации альbedo, %	Год		
	1987	2000	2013
< 10	4,83	4,73	4,78
11–15	34,71	38,32	43,84
16–20	25,89	24,18	17,47
21–25	30,32	27,12	28,13
26–30	4,25	5,65	5,78
Среднее альbedo территории	17,72	17,53	17,31

Как видно из табл. 4, происходит неуклонное снижение площади с альbedo в градациях 16–20 и 21–25, преимущественно естественных поверхностей. Для градаций 11–15 и 26–30 – преимущественно антропогенных поверхностей – отмечается существенное увеличение площади, что может негативно влиять на комфортность проживания человека. Частично решить проблему снижения среднего альbedo территории может использование материалов с высокой отражательной способностью. Например, в работах [19–21] показано, что при увеличении альbedo на 25% происходят значительное уменьшение нагрева поверхности (примерно на 10 °С) и рост термической комфортности (thermal comfort).

При использовании снимков Landsat для подобных исследований также необходимо учитывать, что представленные оценки значения альbedo имеют некоторые погрешности, связанные с неточностями анализа и вариациями коэффициента альbedo для почвы в зависимости от увлажненности, для улично-дорожной сети – от срока службы, для травяного покрова – от фенологической фазы и состояния поверхности. Снимки Landsat вполне пригодны для оценки средних по площади значений альbedo по конкретной градации, а также для динамики изменения. При увеличении точности дешифровки с использованием снимков сверхвысокого разрешения, естественно, значительно возрастает пестрота покрытия участками с различным альbedo, в то время как средние значения будут находиться примерно в тех же границах, что и при определении по снимкам Landsat.

Заключение

В настоящей работе определена динамика изменения структуры землепользования и дифференциального альbedo на примере территории г. Перми за 1987–2013 гг. с помощью снимков высокого разрешения, полученных со спутников семейства Landsat. Предложенная методика обработки разновременных снимков позволяет качественно и оперативно оценивать изменения подстилающей поверхности города. На примере одного из районов г. Перми показано, что на 11,12% увеличилась площадь антропогенного воздействия, которое возросло почти равномерными темпами. Отмечается массовое сокращение (более 10%) почвенно-растительного покрова и зеленых насаждений. Среднее альbedo территории составляет 17%. Дана краткая оценка применимости спутниковых снимков для подобных микроклиматических исследований.

Работа выполнена в Пермском государственном национальном исследовательском университете.

1. *Giordano F., Marini A.* A landscape approach for detecting and assessing changes in an area prone to desertification in Sardinia (Italy) // *Int. J. Navigat. Observ.* 2008. V. 2008. 5 p.
2. *Днепровская В.П., Перемитина Т.О., Яценко И.Г.* Мониторинг состояния растительного покрова нефтедобывающих территорий Томской области по спутниковым данным // *Оптика атмосф. и океана.* 2018. Т. 31, № 1. С. 57–62.

3. *Сваровская Л.И., Яценко И.Г., Алтунина Л.К.* Адаптивная система мониторинга для оценки масштаба загрязнения территорий предприятий нефтегазового комплекса // *Оптика атмосф. и океана.* 2017. Т. 30, № 2. С. 177–183.
4. *Bounoua L., Defries R., Collatz G.J., Sellers P., Khan H.* Effects of land cover conversion on surface climate // *Clim. Change.* 2002. V. 52, N 1. P. 29–64.
5. *Dickinson R.E.* Land surface processes and climate-surface albedos and energy balance // *Adv. Geophys.* 1983. V. 25. P. 305–353.
6. *Wang S.* Dynamics of land surface albedo for a boreal forest and its simulation // *Ecol. Model.* 2005. V. 183. P. 477–494.
7. *Wang S., Trishchenko A., Khlopenkov K., Davidson A.* Comparison of international panel on climate change Fourth Assessment Report climate model simulations of surface albedo with satellite products over northern latitudes // *J. Geophys. Res. D.* 2006. V. 111. 17 p.
8. *Мягков С.М.* Механизм формирования теплового баланса в городской застройке на примере г. Москвы: Дис. ... канд. техн. наук. М.: Науч.-исслед. и проект.-изыскат. ин-т экологии города Москомархитектуры Правительства Москвы, 2004. 129 с.
9. *Song J.* Diurnal asymmetry in surface albedo // *Agric. For. Meteorol.* 1998. V. 92. P. 181–189.
10. URL: <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html> (last access: 19.12.2017).
11. *Калинин Н.А., Пьянков С.В., Связлов Е.М., Смирнова А.А.* Технология комплексной оценки фитомассы сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования Земли // *Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле.* 2010. Вып. 4. С. 11–18.
12. *Перемитина Т.О., Яценко И.Г.* Комплексный подход к оценке влияния антропогенных и природных факторов на окружающую среду нефтегазодобывающих территорий // *Оптика атмосф. и океана.* 2015. Т. 28, № 6. С. 544–547.
13. *Кобзарь С.К., Перемитина Т.О., Яценко И.Г.* Анализ состояния растительности нефтедобывающих территорий Томской области с применением данных дистанционного зондирования // *Оптика атмосф. и океана.* 2016. Т. 29, № 5. С. 414–418.
14. *Li X., Yeh A.G.O.* Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS // *Landsc. Urban Plan.* 2004. V. 69. P. 335–354.
15. *McKenzie P., Cooper A., McCann T., Rogers D.* The ecological impact of rural building on habitats in an agricultural landscape // *Landsc. Urban Plan.* 2011. V. 101. P. 262–268.
16. *Shi Y., Xiao J., Shen Y.* Quantifying the spatial differences of landscape change in the Hai River Basin, China, in the 1990s // *Int. J. Remote Sens.* 2012. V. 33, N 14. P. 4482–4501.
17. *Афонин С.В.* К вопросу о применимости восстановленных из космоса метеоданных MODIS для атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений // *Оптика атмосф. и океана.* 2010. Т. 23, № 8. С. 684–690; *Afonin S.V.* Applicability of space-derived meteorological data to atmospheric correction of satellite Infrared measurements // *Atmos. Ocean. Opt.* 2011. V. 24, N 1. P. 56–63.
18. *Афонин С.В.* Значение обновлений 2007–2011 гг. в моделях молекулярного поглощения для атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений // *Оптика атмосф. и океана.* 2012. Т. 25, № 10. С. 871–877.
19. *Калинин Н.А.* Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. 308 с.

20. Akbari H., Pomerantz M., Taha H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas // Sol. Energy. 2001. V. 70, N 3. P. 259–310.

21. Synnefa A., Karlessi T. Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate // Build. Environ. 2011. P. 38–44.

N.A. Kalinin, V.A. Shklyayev, S.V. Isakov. Use of Landsat data to determination of the dynamics of land-use change and differential albedo.

The problem of determining the dynamics of land-use change and differential albedo was solved with the help of high-resolution images from satellites of Landsat group for the city of Perm in 1987–2013. It is shown that the method suggested for processing of multi-temporal images allows quick qualitative assessment of changes in the underlying surface of the city. It was revealed that human activity is the main factor affecting the changes in the structure of land use and albedo of the territory.

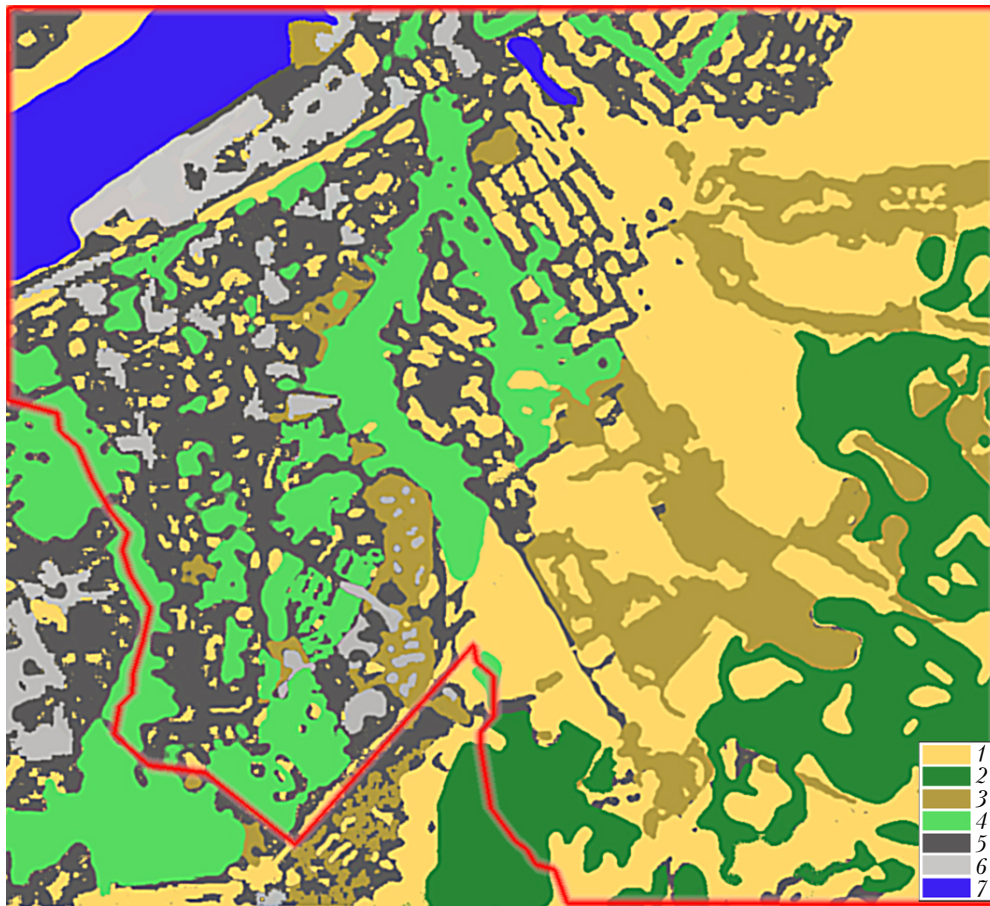
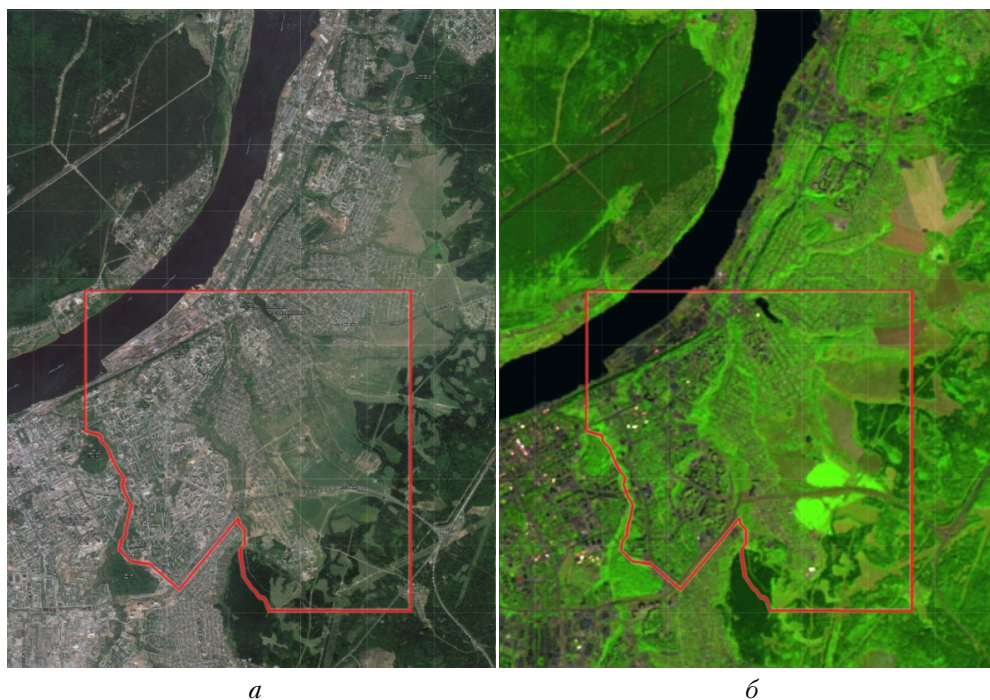


Рис. 1. Пример готового дешифрованного снимка (1987 г.): 1 – травяной покров; 2 – хвойный лес; 3 – почвенный покров; 4 – лиственный лес; 5 – улично-дорожная сеть; 6 – крыши из светлых покрытий; 7 – водная поверхность



a

б

Рис. 2. Территория рассматриваемого района. Выделенные области исследования (2013 г.): *a* – снимок в комбинации каналов 3-2-1; *б* – снимок в комбинации каналов 5-4-3