

УДК: 551.324.6

Использование данных дистанционного зондирования в гляциологических исследованиях на территории Северного Кавказа

Коротких А. А.

Предметом исследования является возможность использования данных дистанционного зондирования в гляциологических исследованиях на территории Северного Кавказа. В работе применена методика дистанционного зондирования, которая дает возможность построения карт ледовой обстановки по спутниковым данным видимого инфракрасного диапазона в режиме реального времени.

Ключевые слова: геоинформационные системы, дистанционное зондирование, дешифрирование космоснимков, гляциологические исследования.

The use of remote sensing data in glaciological studies in the North Caucasus

Korotkikh A. A.

The subject of the research is to find out the possibility of using remote sensing data in the glaciological studies on the territory of the North Caucasus. The technique of remote sensing is applied in the work, enabling to construct ice maps from the satellite data in the visible infrared range in real time mode.

Keywords: geographic information systems, remote sensing, satellite image interpretation, glaciological studies.

Введение

Географическая информационная система (ГИС) — это современная компьютерная технология для картирования и анализа объектов реального мира, а также событий, происходящих на нашей планете. Эта технология объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими, как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и гео-

графического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Эти возможности отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для ее применения в широком спектре задач, связанных с анализом и прогнозом событий окружающего мира, с осмыслением и выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, с планированием стратегических решений и текущих последствий предпринимаемых действий.

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) завоевывают все большую популярность в различных областях науки и экономики. ГИС сейчас можно встретить практически в любой сфере деятельности. Использование технологий геоинформационных систем (ГИС) является эффективным инструментарием анализа и визуализации пространственных данных.

Современные геоинформационные технологии широко применяются для решения задач мониторинга больших территорий, описания быстрых процессов (наводнения, паводки, снеготаяние, распространение загрязнений, сход лавин и т.п.), а также для поддержки принятия решений в области землепользования.

На протяжении всей истории своего развития человек вторгается в природную среду, получая от нее необходимые для его существования и жизнедеятельности материальные и духовные услуги. Интенсивность и направленность этого вторжения, углубляясь и расширяясь, достигли уже критических значений. К изменению и разрушению естественных экосистем и сред добавилось мощное промышленное загрязнение. На 1 кг конечного продукта в мире приходится более 20 кг отходов. Масштабы воздействия человека на атмосферу, рост объемов выбросов парниковых газов являются первоочередной причиной многих экологических проблем. Вместе с качеством природной среды падает и качество формируемых ею природных услуг, обеспечивающих и поддерживающих жизнедеятельность социальных и экономических структур.

Для оценки антропогенного воздействия на природные среды разрабатываются и применяются разного рода эколого-экономические показатели и индикаторы [7].

Примером такого индикатора может служить изменение ледового покрова.

Данные о ледовой обстановке используются для оценки климатической ситуации в регионе [6].

В настоящее время существует ряд методов, позволяющих распознать и классифицировать ледовые объекты. Одним из таких методов является дистанционное зондирование, которое дает возможность построения карт ледовой обстановки по спутниковым данным видимого инфракрасного диапазона в режиме реального времени [1, 2].

Использование данных дистанционного зондирования Земли, в частности, космической съемки различного пространственного разрешения, данных воздушного лазерного сканирования, материалов радиолокационных съемок в настоящее время является альтернативой традиционным источникам гляциологических и геоморфологических исследований (натурные наблюдения, топографические карты и планы исследуемых районов).

Цель исследования

В связи с вышесказанным целью данной работы стало исследование ледовой обстановки Северного Кавказа с помощью данных спутникового мониторинга.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели был решен ряд задач:

1. Анализ существующих картографических баз данных ледовой обстановки по Северному Кавказу.
2. Создание картографической базы данных.
3. Подготовка исходных данных для исследования ледовой обстановки:
 - разработка многокритериальной системы отбора космоснимков;
 - создание каталога космоснимков, отображающих лед Северного Кавказа.

В соответствии с поставленными задачами, работа разделилась на три больших этапа:

1. Создание картографической базы данных.

2. Создание каталога космоснимков ледовой обстановки Северного Кавказа.
3. Создание ГИС ледовой обстановки.

Изучение ледовой обстановки было решено проводить с помощью данных спутникового мониторинга. Фонд космических съемок в настоящее время обширный и включает материалы, полученные съемочными системами разных типов — сканерными (многозональными, панхроматическими), радиолокационными (на разных длинах волн, при разной поляризации сигнала) и фотографическими (черно-белыми, цветными, спектральнозональными и многозональными) в разных участках электромагнитного спектра (табл. 1), с разным пространственным (от 0,4 м до нескольких километров) и радиометрическим разрешением (8,11,12,16 бит/пиксел).

Таблица 1 — Участки спектра электромагнитных колебаний, в которых ведется съемка

Участок спектра	Интервал длины волн	Регистрируемое излучение
Видимый	0,40 — 0,69 мкм	Отраженное солнечное излучение
Ближний инфракрасный	0,70 — 1,3 мкм	
Средний инфракрасный	1,4 — 3,0 мкм	
Тепловой инфракрасный	3,0 — 1000 мкм	Тепловое излучение земной поверхности
Радио	1 мм — десятки метров	Излучение земной поверхности, искусственное излучение

В настоящее время съемку Земли из космоса ведут более 50 оптико-электронных и радарных космических аппаратов, принадлежащих двум десяткам стран, в том числе спутники новейшего поколения. По сравнению с архивными материалами параметры съемочных данных существенно изменились. Во-первых, достижения в области волоконной оптики сделали возможным значительное улучшение пространственного разрешения оптико-электронных съемочных систем, что повлекло за собой широкое распространение материалов метрового и субметрового разрешения в видимом и ближнем ИК участках спектра. Сейчас на рынке широко распространены снимки с пространственным разрешением 0,4—2,5 м в панхроматическом варианте и 1,5—4 м — в многозональном, а в ближайшие годы появятся съемочные системы с разрешением 0,25 м. При этом неизбежно малый угол захвата компенсируется наклоном камеры. Во-вторых, изменилось спектральное разре-

шение: вместо 3—4 каналов современные многозональные системы ведут съемку в 8, 14, 36 каналах, а современные спектрометры выполняют гиперспектральную съемку в 200 и более каналах. В-третьих, произошло увеличение радиометрического разрешения: весь интервал яркостей при съемке разбивается не на 256 ступеней (8 бит/пиксел), а, например, на 2048 (11 бит/пиксел), что существенно повышает качество снимков, особенно панхроматических, т.е. черно-белых. Тенденция последних лет — обеспечение съемки в стереорежиме, которую реализуют разными способами: с разных витков, с одного витка двумя съемочными системами или изменением наклона одной, с двух спутников в тандеме, снимающих почти синхронно (рис. 1).

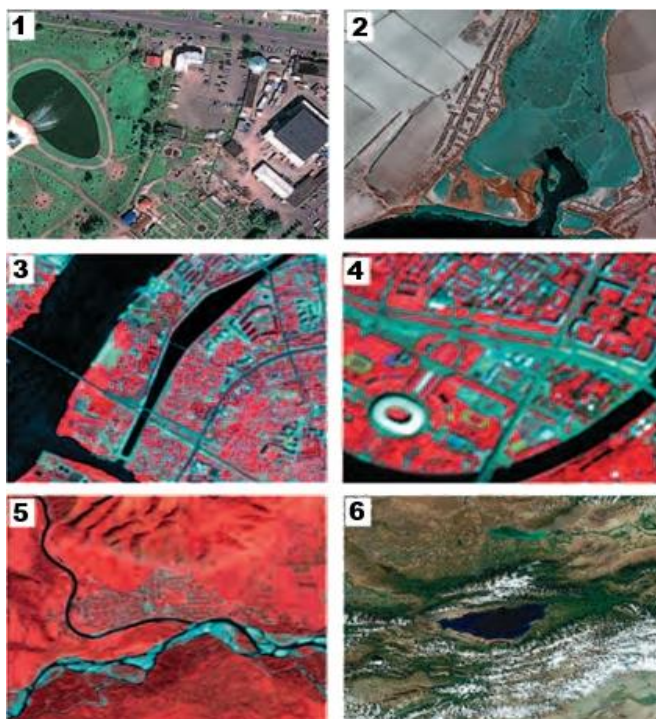


Рисунок 1 — Фрагменты снимков с разным пространственным разрешением: 1 — около 2 м, GeoEye (Google Earth); 2—5 м, SPOT-5; 3—10 м, ALOS; 4—15 м, ASTER; 5—30 м, Landsat; 6—500 м, MODIS

Снимки с пространственным разрешением 10 и менее метров распространяются по достаточно высоким ценам.

В Южном федеральном университете на базе НИИ механики и прикладной математики им. И. И. Воровича успешно работает станция приема космической информации «УниСкан-24™», разработанная российским Инже-

нерно-технологического центром «СканЭкс», являющаяся центральным звеном в деятельности Центра космического мониторинга ЮФУ и инновационно-технологического центра «Дистанционное зондирование Земли» (ИТЦ «ДЗЗ»). Поэтому стало возможным получение космических снимков как в реальном времени (актуальных), так и архивных, которые отсутствуют в свободном доступе.

Космоснимки были получены с помощью антенны, которая в автоматическом режиме ведет прием сигнала со спутников: SPOT-4, Terra и Aqua. Всего в НИИМиПМ им. И. И. Воровича ЮФУ за время работы приемной антенны накоплено более 55000 снимков. Таким образом, важным моментом при создании каталога космоснимков явилась разработка методики для их отбора.

Так как нас интересовала ледовая обстановка именно Северного Кавказа, то все космоснимки необходимо было отсортировать по территории и временному интервалу, чтобы они являлись актуальными для проведения работы.

Еще одним важным критерием отбора явились метеорологические условия. Выбирались те космоснимки, на которых облачность не закрывала исследуемую территорию или была незначительной, чтобы сквозь облака можно было рассмотреть ледовую поверхность.

Следующим этапом работы после отбора снимков являлась подготовка их к дешифрированию.

Природные тела (вода, растительность, горные породы и др.) характеризуются различной отражательной способностью, которая дифференцируется также для фиксированных длин электромагнитных волн (рис. 2).

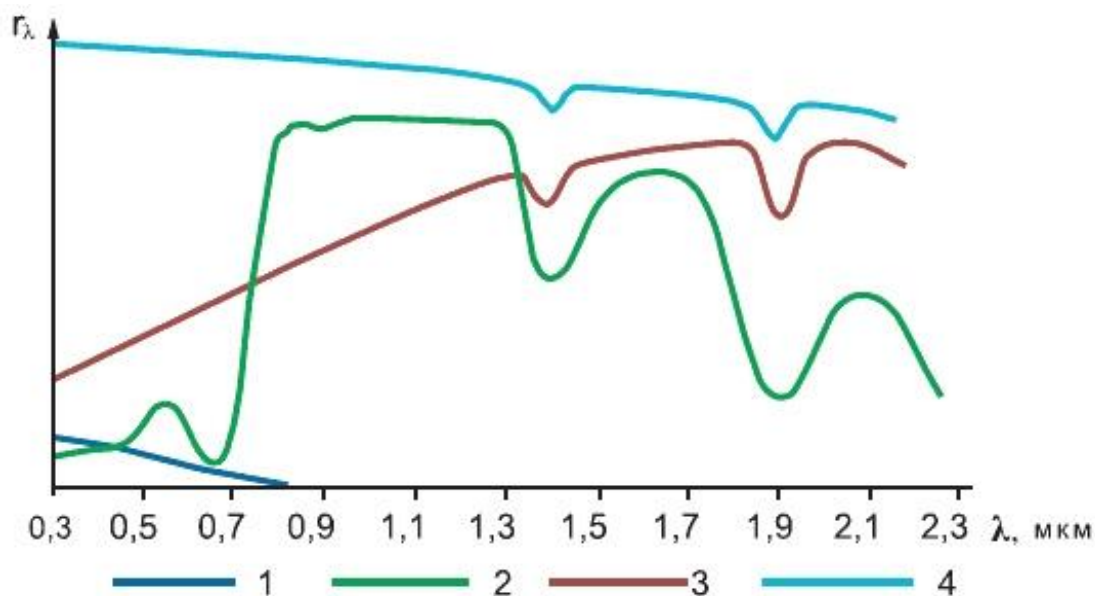


Рисунок 2 — Кривые спектральной яркости основных классов природных объектов: 1 — водные объекты; 2 — растительность; 3 — почвы и горные породы; 4 — снег, облака

Эксперименты показали, что для каждой группы объектов выделяются длины электромагнитных волн, в которых они регистрируются на снимках более конкретно.

Снег и облака, представляющие воду в двух других фазовых состояниях, имеют свои закономерности распределения яркости по цветовому спектру: максимум отражения приходится на синюю зону, а минимум — на ближнюю инфракрасную, но отличаются очень высокой интегральной яркостью. Облака и снег — самые яркие объекты на земной поверхности. Яркость снега более стабильна во времени, так как облачность сохраняется над одной точкой, как правило, не более трех — пяти дней.

Так как снимок, представляет собой черно-белое изображение, лед практически невозможно отличить от облаков. Для синтезирования цветного изображения применялась система RGB. Согласно этой системе, любое изображение на цветном экране формируется из трех основных цветов: синий, зеленый, красный, — которым соответственно присваиваются зоны 0,5—0,6; 0,6—0,7; 0,8—1,1 мкм. Однако, если изменить комбинацию съемочных каналов и открывать космоснимки не в 36 каналах одновременно, а взять только

три: 3, 6, и 7 (0,46—2,16 мкм), — то за счет своей отражающей способности все объекты будут показаны в разной цветовой гамме.

Благодаря цветовой дифференциации групп объектов, ледовые поверхности стали четко просматриваться, так как теперь они отличаются от облаков цветом и текстурой.

Визуально лед, представленный на космоснимках, можно разделить на два вида. Первый тип льда имеет ярко-красный цвет, это говорит о том, что ледовая поверхность очень прочная и мощная. Подтаявший и тонкий лед отображается темно-красным. Таким образом, при оцифровке для каждого космоснимка создавалось два полигона: 1 — разреженный лед и 2 — сплоченный. По полученным данным для каждой даты снимка были построены карты ледовой обстановки.

Для более точного представления о том, как изменялся лед со временем, была подсчитана его площадь.

Данный материал лег в основу создания ГИС ледниковых покровов Северного Кавказа.

В качестве инструментов анализа изменения состояния ледников Северного Кавказа были использованы программа ArcGIS — семейство программных продуктов американской компании ESRI, одного из лидеров мирового рынка геоинформационных систем, а также программа MultiSpec, разработанная в американском университете Purdue.

Результаты и обсуждение

Применение космических материалов при проведении мониторинга сводится к сопоставлению разновременных данных для выявления как короткопериодических, так и многолетних изменений. Основные методические приемы совместного анализа включают, во-первых, сопоставление разновременных снимков и результатов их обработки, во-вторых, карты, составленные по разновременным съемочным данным, и, в-третьих, архивные карты и снимки.

Наиболее простая по выполнению операция — вычитание (или сложение) разновременных снимков. Однако во многих случаях такой подход требует

соблюдения определенных условий, которые частично ограничивают его применение на практике. Снимки должны быть получены одной и той же или аналогичной съемочной системой и приведены к одинаковым условиям съемки, для чего необходимо выполнить дополнительную коррекцию — исключить влияние атмосферы. В противном случае с достаточной уверенностью можно выявлять лишь значительные изменения во внешнем облике территории или отдельных объектов, а к количественным оценкам изменений в яркости объектов подходить с осторожностью.

Таким образом, возникает возможность появления фиктивных изменений, это связано с двумя основными причинами. Первая из них — сопоставление при изучении многолетней динамики снимков, зафиксировавших разные сезонные состояния ландшафта. В некоторых случаях, и таких немало, внутригодовые изменения в площади объектов могут превышать долговременные, за десятки лет. Так, к существенным ошибкам при определении границ оледенения — может привести сопоставление снимков с изображением сезонного снежного покрова. Выявление сезонных изменений географических объектов — необходимое условие получения достоверных данных о многолетних изменениях. Вторая причина появления фиктивных изменений — неизбежные «технические» погрешности в положении границ объектов дешифрирования на разновременных изображениях.

Пример изучения реакции горных ледников на изменения климата с использованием материалов разновременного дистанционного зондирования можно привести, опираясь на работы Е. А. Золотарева и Е. Г. Харьковца. В этих работах исследование эволюции оледенения Эльбруса базируется на трех фиксированных датах: 1957, 1979 и 1997 гг [3, 4, 5].

В наших же исследованиях были использованы снимки за период с 2001 по 2011 гг. Для того чтобы избавиться от возможного появления фиктивных изменений, было принято решение отследить изменения температур за этот же период. Поэтому были получены данные из архива температурных измерений в районе Эльбруса, в которых отслеживается тренд на увеличение температуры.

Проследив изменение оледенения за данный период, был сделан вывод, что площадь ледовой поверхности Эльбруса с 2001 по 2011 гг. сократилась на 0,3 км².

Нельзя утверждать, что такая тенденция наблюдается по всему миру, так как исследования были проведены за десятилетний период в одном конкретно выбранном месте.

Заключение

В последнее время космическая съемка заняла прочное место в системе средств, применяемых при проведении мониторинга окружающей среды. Перечень тематических задач, решаемых по данным дистанционного зондирования Земли очень велик.

Широкое распространение снимков из космоса часто создает обманчивое представление о легкости получения надежной информации при их использовании. На самом деле получить достоверные данные о состоянии природных объектов и их изменениях во времени — довольно сложная и трудоемкая задача.

Надежность информации, извлеченной из съемочных материалов, в наибольшей степени зависит от нескольких факторов, основные из которых — свойства изучаемых объектов и квалификация исполнителя. Достоверность распознавания на снимке природных объектов в решающей степени обусловлена их спектральными свойствами, выраженностью границ, степенью изменчивости, а также наличием устойчивых взаимосвязей с другими объектами. Квалификация исполнителя предполагает, что он должен обладать знанием теоретических основ дистанционного зондирования, опытом дешифрирования и владеть геоинформационными технологиями. Существенными факторами надежности результатов являются также качество (свойства) снимков и техническое обеспечение работы (компьютеры и программы).

Результаты исследования показали эффективность использования геоинформационного подхода к решению задач наблюдения за динамикой ледовой поверхности на территории Северного Кавказа.

Разработана технология извлечения информации о ледовом покрове из космических снимков, получаемых со спутников AQUA и TERRA.

Таким образом, апробированы основные методики идентификации снежно-ледниковых поверхностей и создана методологическая база для дальнейших гляциологических исследований территории Северного Кавказа.

Список литературы

1. Ерасов Н.В. Метод определения объема горных ледников // МГИ. №14. 1968. — С. 307–308.
2. Журавлев А.Б. О зависимости между площадью и объемом ледников // МГИ. №40. 1981. — С. 262–265.
3. Золотарев Е.А. Эволюция оледенения Эльбруса. -М.: Научный мир, 2009. — 230 с.
4. Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Оценка деградации оледенения Эльбруса методами цифрового картографирования.//Вестник Моск. ун-та. №5, 2007. — С. 45–51.
5. Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Оледенение Эльбруса в конце XX в//Материалы гляциологических исследований. № 89, 2000. — С. 175-181.
6. Котляков В. М. Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху. -М.: Наука, 2006. — 482 с.
7. Кравцова В.И., Книжников Ю.Ф. Космическая геоинформация для исследования изменений гляциосферы: сегодня и завтра.// МГИ. № 99. 2005. — С. 211–222.