

УДК 504.4.054, 504.064.3

Н. И. Куракина, А. А. Михайлова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Картографическое моделирование снежного покрова в технологии геоинформационных систем

Исследованы вопросы картографирования снежного покрова с использованием программы ArcGIS for Desktop и данных космосъемки – снимков со спутника Landsat 8. Разработан алгоритм определения площади снежного покрова с целью оценки риска затопления территории в период половодий. В качестве объекта исследования выбрана река Белая, протекающая по территории республики Башкортостан. Основным источником питания выбранной реки служат осадки, преимущественно снег, что делает особенно важной задачу прогнозирования весенних разливов. Согласно разработанному алгоритму, площадь снежного покрова вычисляется с использованием нормализованного индекса различий снежного покрова NDSI. Проведен сравнительный анализ использования различных индексов. Рассчитаны значения площади снежного покрова по снимкам разных временных периодов, получено процентное соотношение заснеженной области к общей площади территории. Произведена проверка корректности используемого алгоритма вычислений и сделан вывод о возможности использования индексов NDSI и NDVI для анализа изменения снежного покрова по растровым снимкам для оценки риска затопления территории в период половодья.

Снежный покров, спутниковые снимки, индексный анализ, ГИС

Моделирование снежного покрова в большинстве случаев является одним из этапов моделирования гидрологического цикла в целом. Для территорий с редкой сетью наземных снегомерных наблюдений приобретает все большее значение использование спутниковых данных. Ряд характеристик снежного покрова (площадь заснеженности, температура поверхности снега, снегозапас) могут быть с различным уровнем надежности измерены по данным космической съемки. Наиболее надежно по данным космической съемки оценивается площадь заснеженности. Детальный анализ космических снимков позволяет своевременно измерить динамику изменения площади снежного покрова и оценить потенциальную опасность для населенных пунктов и промышленных объектов.

Цель данной работы состоит в разработке алгоритма оценки площади снежного покрова по космическим снимкам с использованием программы ArcGIS for Desktop для оценки риска затопления территории в периоды половодий.

В качестве объекта исследования выбрана река Белая, протекающая по территории республики Башкортостан. Около 80 % питания реки Белой – это осадки, в основном снег. Соответственно, весенний разлив реки зависит от количества снега в этом районе.

Половодье реки Белой проходит приблизительно с 10 апреля по 28 мая. Во время половодья воды заливают пойму вместе с расположенными на ней полями, лесами и городскими кварталами. Помочь в прогнозировании половодья может анализ площади снежного покрова района реки Белой, в частности оценка изменения количества снега во времени с использованием данных дистанционного зондирования земли.

Индексный анализ ДДЗ. В период весеннего снеготаяния репрезентативность и надежность данных снегомерных съемок снижается, а частота их получения становится недостаточной. В связи с этим возрастает ценность спутниковой информации о заснеженности территории, которая при благоприятных погодных условиях может обнов-

ляться ежедневно. К основным источникам оперативных данных о заснеженности относятся снимки спутника Landsat 8, которые находятся в свободном доступе [1].

Landsat 8 – восьмой спутник дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в рамках программы Landsat, поддерживаемой совместно Геологической службой США (USGS) и Национальным аэрокосмическим агентством (NASA). Landsat 8 осуществляет съемку, используя два набора сенсоров – Operational Land Imager (OLI) и Thermal InfraRed Sensor (TIRS) с пространственным разрешением 30...100 м в зависимости от диапазона съемки. Временное разрешение – 16 сут.

Назначение спутника – съемка земной поверхности в видимом, ближнем инфракрасном, среднем инфракрасном и тепловом диапазонах спектра. Получаемые снимки – растровые, т. е. состоят из ячеек – пикселей, каждому пикселю соответствует территория площадью 30 × 30 м и информация о количестве отраженного света. Эту информацию можно использовать для вычисления различных индексов изображений.

Различают индексы для оценки почвы, растительности, атмосферы, полезных ископаемых и т. д.

Для подсчета площади снега в работе используется индекс NDSI – нормализованный индекс различий снежного покрова. Индекс NDSI для каждой ячейки растра вычисляется по формуле

$$NDSI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR},$$

где Green – количество зеленого света с длиной волны 0.525...0.6 мкм, отраженного от участка; SWIR – количество коротковолнового света с длиной волны 1.56...1.66 мкм, отраженного от этого же участка. При расчете NDSI также учитывается маска облачности, поскольку облака, как

и снег, хорошо отражают излучение в видимой части спектра и поглощают в инфракрасной.

Пороговое значение индекса NDSI, по которому детектируется снежный покров, рекомендовано принимать равным 0.4 – т. е. пиксель снимка определяется как заснеженная территория, если ему соответствует значение индекса от 0.4 и больше. Этот порог NDSI был проверен разработчиками метода [2]. По данным разработчиков, точность распознавания снежного покрова составляет от 90 до 98 %, в зависимости от сезона года и типа подстилающей поверхности.

Для сравнения результатов используется индекс NDVI – нормализованный вегетационный индекс, который определяет наличие и состояние растительности, а также водные объекты, снег, облака и искусственные материалы [3]. Индекс NDVI вычисляется по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red},$$

где NIR – количество инфракрасного света с длиной волны 0.845...0.885 мкм; Red – количество красного света с длиной волны 0.63...0.68 мкм.

Согласно формулам для двух нормализованных индексов их значения лежат в пределах от –1 до 1.

Алгоритм вычисления площади снежного покрова. Алгоритм вычисления в виде схемы представлен на рис 1.

В рабочую область программы ArcGIS for Desktop добавляются снимки зеленого и инфракрасного каналов. При помощи инструмента «Калькулятор растра» по уже известной формуле вычисляется индекс NDSI для каждой ячейки изображения. В результате получаем новое растровое изображение, каждой ячейке которого соответствует используемый индекс [4]. Для снеж-

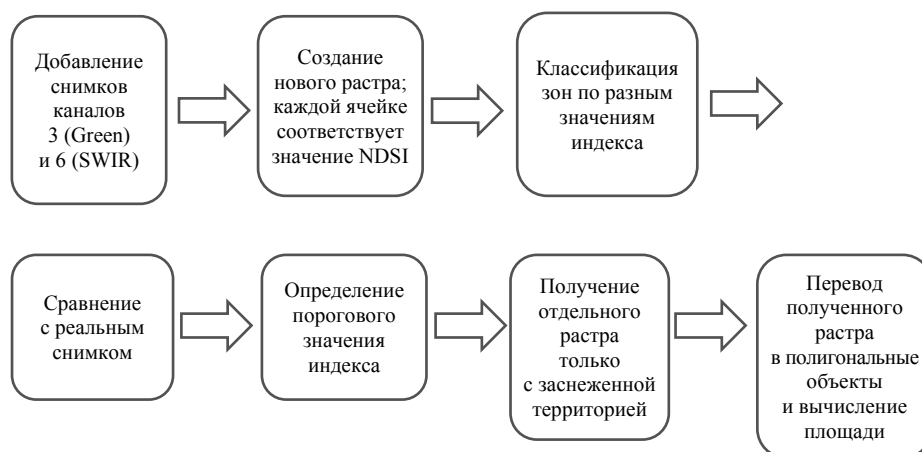


Рис. 1

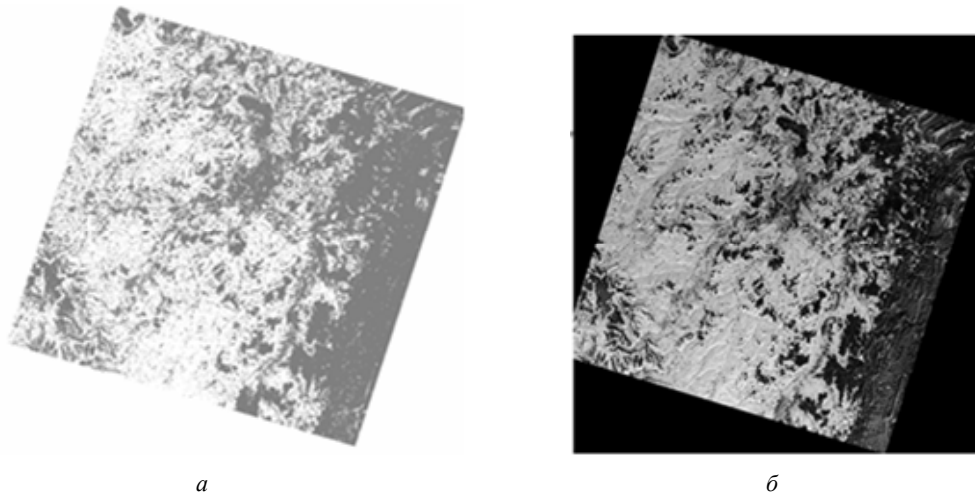


Рис. 2

ного покрова обобщенное пороговое значение индекса NDSI больше или равно 0.4.

В программе ArcGIS for Desktop имеется возможность разными способами классифицировать ячейки в растровом изображении. Если присвоить черный или серый цвет ячейкам, для которых индекс NDSI меньше 0.4, и белый цвет для ячеек с индексом больше или равным 0.4, то изображение получится достаточно наглядным, и его можно сравнить со спутниковым снимком в естественном свете, взятым с сайта. Пороговое значение можно изменить в большую или меньшую сторону, в зависимости от разницы между обработанным и исходным снимками, определяемой визуально. Оба варианта снимка представлены на рис. 2 (*a* – обработанный снимок (NDSI), *б* – реальный снимок).

В результате подбора порогового значения индекса можно получить изображение, наиболее похожее по заснеженности на исходный снимок. После этого для всех пикселей, определенных программой как снег, вычисляется общая площадь – площадь снежного покрова.

При использовании индекса NDSI важна малая облачность, поскольку облака так же отражают излучение в видимой части спектра и поглощают в инфракрасной, как и снег. Поэтому для анализа изменения покрова выбирались снимки с минимальной облачностью (менее 10 %). Информация об облачности для каждого снимка также предоставляется на сайте [5].

Результаты анализа. Для территории реки Белой спутниковые снимки заснеженной территории, подходящие под необходимое значение облачности, встречаются 1–2 раза в год в период с января по март. Были отобраны соответствующие снимки и рассчитана площадь заснеженной территории.

Для проверки корректности полученных результатов была рассчитана общая площадь на снимке. Для этого выбирались все ячейки исходного растрового изображения, и вся выбранная территория переводилась в полигональный объект, для которого вычислялась площадь. Площадь снимка составляет 37 453.5 км². Таким образом, получено процентное соотношение площади снежного покрова S к площади снимка S' в разное время с 2015 до 2018 г. Диаграмма с результатами показана на рис. 3.

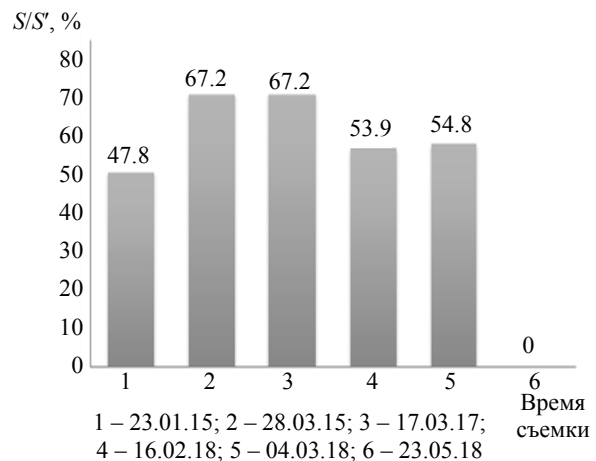


Рис. 3

При обработке снимка от 23.01.2015 снежный покров определялся более корректно при значении индекса NDSI больше 0.3. Для остальных изображений пороговое значение осталось равным 0.4.

Был произведен сравнительный анализ площадей заснеженной территории с использованием двух различных индексов: один и тот же снимок был обработан при помощи нормализованного вегетационного индекса NDVI и NDSI с использованием описанной ранее методики. Разность площадей составила 1275.4 км², что приблизительно

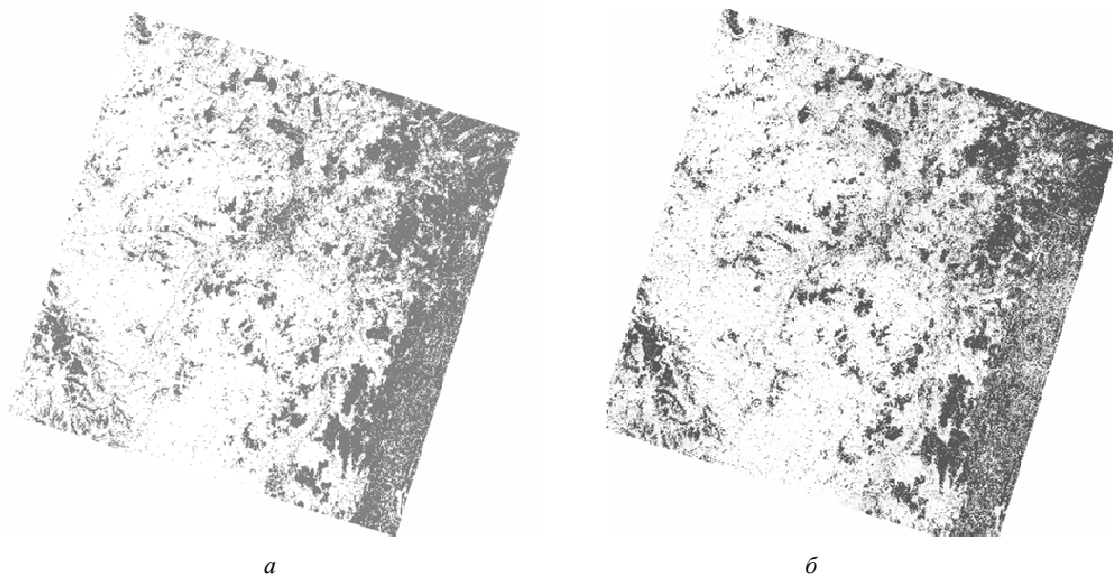


Рис. 4

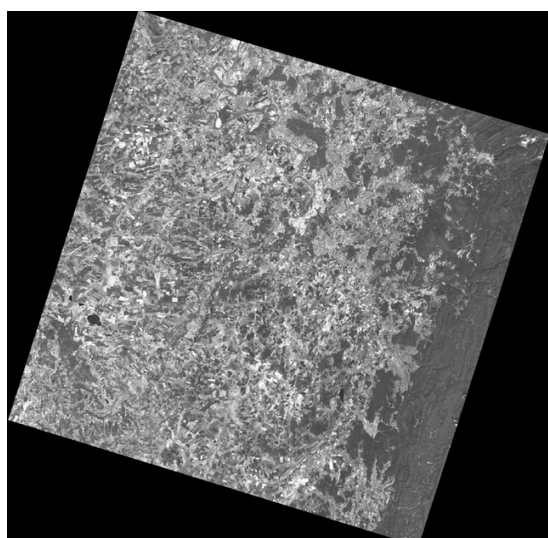


Рис. 5



Рис. 6

Значение индекса NDVI	Предполагаемый объект (при расчете растительности летом)	Определяемый объект (при настоящем расчете)
-1...-0.5	Искусственные материалы	Нет объекта
-0.5...-0.25	Вода	Нет объекта
-0.25...-0.05	Снег и лед	Облака
-0.05...0	Облака	Снег
0...0.025	Открытая почва	Менее заснеженные территории
0.025...0.7	Растительность	Растительность
0.7...1	Искусственные материалы	Нет объекта

составляет 5 % от значения, полученного при вычислении индекса NDSI. Обработанные снимки и вычисленная площадь снежного покрова представлены на рис. 4 (а – NDSI ($S = 25\,169.4\text{ км}^2$), б – NDVI ($S = 26\,444.8\text{ км}^2$)).

Нормализованный вегетационный индекс NDVI в основном используется для определения территорий с растительностью. Для него также существуют найденные экспериментально диапазоны значений для разных объектов – растительности, водных объ-

ектов и др. В таблице представлены диапазоны значений индекса и вид объектов, распознаваемые в данном диапазоне в случае расчета растительности (летний снимок) и площади снежного покрова (зимний снимок).

В результате использования вегетационного индекса значение площади увеличилось; на снимке были выявлены растительность, заснеженные территории и облака.

Также для проверки корректности используемого алгоритма вычислений была посчитана площадь снежного покрова для летнего снимка территории реки Белая (23 мая 2018 г.) (рис. 5).

При помощи индекса NDSI была вычислена площадь заснеженной территории – 2.92 км². На участке, который был принят за снег, происходит добыча соды предприятием ОАО «Сода» (рис. 6).

Из проделанной работы следует вывод, что индексы NDSI и NDVI можно использовать для анализа изменения снежного покрова по растровым снимкам. В качестве порогового значения

для выделения снежного покрова по индексу NDSI в большинстве случаев следует принимать значение 0.4. Анализ снимков производится с некоторой погрешностью, но значительное изменение количества снега в течение нескольких месяцев может быть диагностировано. В перспективе данные спутниковых снимков Landsat 8 и расчет площади снежного покрова в районе реки Белая при помощи нормализованных индексов NDSI и NDVI можно использовать для прогнозирования весенних половодий и определения территорий, подвергающихся затоплению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снимки со спутника Landsat. URL: <https://libra.developmentseed.org> (дата обращения 19.09.2019).

2. Крутских Н. В., Кравченко И. Ю. Использование космоснимков Landsat для геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. № 2. С. 159–168.

3. NDVI – теория и практика. URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения 19.09.2019).

4. Куракина Н. И. Геоинформационные системы в экологии. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 160 с.

5. Crane R. G., Anderson M. R. Satellite discrimination of snow/cloud surfaces // Intern. J. of Remote Sensing. 1984. № 5(1). P. 213–223.

N. I. Kurakina, A. A. Mikhaylova
Saint Petersburg Electrotechnical University

CARTOGRAPHIC MODELLING OF SNOW COVER IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM TECHNOLOGY

Contains the issues of snow cover mapping using the ArcGIS for Desktop program and satellite imagery data from Landsat 8. An algorithm for determining the snow cover area was developed with the aim of assessing the risk of flooding during floods. The Belaya River flowing through the territory of the Republic of Bashkortostan was chosen as the object of study. The main source of food for the selected river is precipitation, mainly snow, which makes the task of forecasting spring spills especially important. According to the developed algorithm, the snow cover area is calculated using the normalized difference snow index NDSI. A comparative analysis of the use of various indices. The values of the snow cover area are calculated from the images of different time periods, the percentage ratio of the snow-covered area to the total area of the territory is obtained. The correctness of the calculation algorithm used was verified and a conclusion was drawn on the possibility of using the NDSI and NDVI indices for analyzing changes in snow cover by raster images in order to assess the risk of flooding of the territory during the flood period.

Snow cover, satellite imagery, index analysis, GIS