

УДК 535.015

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ АКВАТОРИИ ОЗЁР

А.А. Донцов, И.А. Суторихин

Институт водных и экологических проблем СО РАН,
Институт вычислительных технологий СО РАН
г. Барнаул, г. Новосибирск

Для определения площади акватории разнотипных озёр разработана программа обработки спутниковых данных Landsat-8 и Sentinel-2. В качестве примера реализации предложенного алгоритма, определены площади таких озёр как Красиловское, Большое Яровое и Кучукское в Алтайском крае, а также Телецкое в Республике Алтай. Проведена оценка ошибок полученных значений площадей водных объектов, возникающих в ходе обработки данных.

Ключевые слова: Дистанционное зондирование, ГИС, озеро, Landsat-8, Sentinel-2, Spectral Angle Mapper.

Актуальной задачей гидрологии внутренних водоемов суши является определение площади акватории в различные сезоны года [1]. Изменение площади водоёмов может быть связано как с природными процессами, так и антропогенным воздействием. Применение в качестве индикаторов водоёмов, при изучении подобных процессов, возможно лишь при достоверной количественной оценке их морфометрических характеристик, в первую очередь, их площади. Как правило, для этого используют наземные измерения, данные аэрофотосъемки и спутникового мониторинга. В работе представлены первые результаты разработки программного комплекса для определения площади акватории озёр и водохранилищ по данным, полученным с космических аппаратов Sentinel-2 и Landsat-8.

Объекты и методы

В работе применены данные космических аппаратов Sentinel-2 и Landsat-8, которые получены из открытых архивов спутниковой информации ESA (European Space Agency) и USGS (United States Geological Survey) [2, 3]. При определении площади акватории озёр использованы следующие спектральные каналы измерительных приборов:

1. Landsat-8(OLI) – шесть спектральных каналов со второго по седьмой с пространственным разрешением 30 метров. После процедуры паншарпенинга (pan sharpening) пространственное разрешение было увеличено до 15 метров.

2. Sentinel-2(MSI) – десять каналов с пространственным разрешением 10 метров.

Для обработки данных на основе компонентов библиотеки GDAL [4] и библиотеки работы со спектральными снимками Spectral [5] на языке Python разработан программный модуль. Первым этапом его работы является атмосферная коррекция, которая реализована по алгоритму DOS1 [6]. Второй этап заключается в классификации данных. При реализации классификации задавались тренировочные области в виде векторных полигонов, покрывающих гомогенные типы подстилающей поверхности на спутниковых снимках. Таким полигонам задавался определенный класс (например: акватория озера, лес, поле и т.д.). При классификации использовался метод спектральной корреляции (Spectral Angle Mapper), который определяет спектральный угол между сигнатурой пикселя карты и тренировочной спектральной сигнатурой [7]. Вычисление происходит согласно формуле:

$$\theta(x, y) = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

где x – вектор спектральной сигнатуры пикселя снимка, y – вектор спектральной сигнатуры тренировочной области, n – количество спектров изображения. На третьем, заключительном, этапе происходит запись результатов классификации в базу данных, которая разработана с использованием NoSQL парадигмы, на основе СУБД MongoDB [8]. Применение такого подхода в разработке каталогов спутниковых данных и геопортальных решений более

подробно рассмотрено в [9,10]. Записи в СУБД представляют из себя JSON массив, называемый документом, который в упрощенном виде представлен ниже.

```
{
  "crs": { "urn:ogc:def:crs:EPSG::32645" },
  "features": [
    { "properties": { "AREA": 229427100.0,
      "PERIMETER": 309390.0 }, "geometry": { "type":
      "Polygon", "coordinates": [ [ [ 549232.5,
      5739337.5 ], [ 549262.5, 5739337.5 ], [ 549262.5,
      5739307.5 ], [ 549292.5, 5739307.5 ],
      ...
      ...
      ...]]]
    }
  ]
}
```

Параметр crs описывает географическую проекцию, в которой задан объект, далее идёт описание самого объекта AREA и PERIMETER — площадь и периметр, описание геометрии, затем перечислены координаты узлов. Используя возможности MongoDB, можно производить сравнение результатов классификации сделанной для разновременных снимков.

Оценка точности

Точность измерения площади водоема по ДЗЗ зависит от многих факторов: параметров водоема (площади, прозрачности воды, извилистости береговой линии), характеристик измерительной аппаратуры (пространственного разрешения, спектральных диапазонов, углов съемки), условий съемки (освещенности, состояния атмосферы) и методик обработки данных (алгоритмов классификации, комбинации спектральных каналов). Как правило, погрешность растет с уменьшением площади водоема и увеличением степени извилистости его береговой линии. При определении морфометрических характеристик водных объектов в оптическом диапазоне, наиболее приемлема ближняя инфракрасная зона электромагнитного спектра. Также необходимо учитывать, что при высокой мутности мелководных участков водоема при классификации можно перепутать участки водной поверхности с участками суши, что приводит к увеличению погрешности [11].

Для оценки точности составлена матрица ошибок, представляющая собой таблицу сравнения итоговой карты с эталонными значениями [5]. Для этого создавались проверочные участки разного размера, преимущественно на границе вода-суша. Проверочным участкам в процессе визуальной дешифровки снимка присваивался класс

подстилающей поверхности. Затем значения классов проверочных участков сравнивались со значениями классификации. Для визуальной дешифровки был использован снимок Sentinel-2 с наилучшим контрастом вода-суша, результаты процедуры представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Точность классификации снимков

Озеро	Landsat-8	Sentinel-2
Красиловское	89%	93%
Яровое	94%	98%

Необходимо отметить, что это оценочные значения, реальная погрешность измерения несколько выше и должны учитываться все перечисленные факторы, влияющие на точность измерения. Для более точного расчета погрешности определения площади необходимы данные с более высоким пространственным разрешением или аэрофотоплан исследуемой местности.

Результаты



Рисунок 1 – Озеро Красиловское, комбинация снимка Sentinel-2 и результата классификации в векторном формате GeoJSON

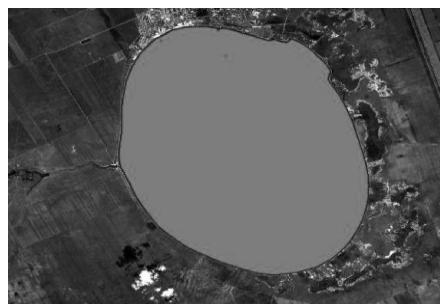


Рисунок. 2 – Озеро Большое Яровое, комбинация снимка Landsat-8 и результата классификации в векторном формате GeoJSON

Таблица 2 – Данные Landsat-8 и Sentinel-2 озеро Красиловское

Landsat-8		Sentinel-2	
Дата	Площадь, км ²	Дата	Площадь, км ²
17.09.2016	0,74	05.10.2016	0,71
16.08.2015	0,73	15.09.2016	0,72
29.06.2016	0,73	03.08.2016	0,73

Таблица 3 – Данные Landsat-8 озеро Большое Яровое

Landsat-8		Sentinel-2	
Дата	Площадь, км ²	Дата	Площадь, км ²
11.07.2016	73,18	05.08.2016	72,76

Таблица 4 – Данные Landsat-8 озеро Кучукское

Landsat-8		Sentinel-2	
Дата	Площадь, км ²	Дата	Площадь, км ²
05.08.2016	172,94	11.09.2016	171,68

Таблица 5 – Данные Landsat-8 озеро Телецкое

Landsat-8		Sentinel-2	
Дата	Площадь, км ²	Дата	Площадь, км ²
03.09.2016	229,42	14.09.2016	229,97

Заключение

Данные спутникового мониторинга являются надежным и актуальным источником информации о состоянии водных объектов. Представленный программный комплекс для

определения площади акватории с достаточной точностью может использоваться для широкого круга прикладных и фундаментальных задач гидрологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лямина В.А., Глушкова Н.В., Смоленцева Е.Н., Зольников И.Д. Использование методов ГИС и ДЗ для мониторинга площади озер и солончаков на территории юга Западной Сибири. // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2010 №2, том 4, с. 1-12.
2. European Space Agency [Electronic resource]. — URL: <https://scihub.copernicus.eu/dhus>
3. United States Geological Survey [Electronic resource]. — URL: <https://ers.cr.usgs.gov>.
4. GDAL — Geospatial Data Abstraction Library [Electronic resource]. — URL: <http://www.gdal.org>
5. Spectral Python [Electronic resource]. — URL: <http://www.spectralpython.net>.
6. Kruse F.A., Lefkoff A.B., Boardman J.W., Heidebrecht K.B., Shapiro A.T., Barloon P.J., Goetz A.F.H. The Spectral Image Processing System (SIPS) – interactive visualization and analysis of imaging spectrometer // Data Remote Sensing of Environment.1993. No 44. P. 145-163.
7. Congalton R., Green K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009. 200 p.
8. MongoDB [Electronic resource]. — URL: <http://www.mongodb.com>.
9. Донцов А.А., Волков Н.В., Лагутин А.А. Региональная геоинформационная система оперативного космического мониторинга // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2015. Т. 8. № 6. С. 763-768.
10. Донцов А.А., Волков Н.В., Лагутин А.А. Разработка технологии организации каталогов спутниковых данных // Известия Алтайского государственного университета. — 2014. № 1-2. С. 172-175.
11. С.Г. Корниенко. Оценка погрешности измерения площади водоёмов в криолитозоне по данным космической съемки различного пространственного разрешения // Методы исследования Криотосферы. Криосфера Земли – 2014, т. XVIII, No 4, с. 86–93.

Донцов Александр Андреевич – аспирант ИВЭП СО РАН, e-mail: alexdontsov@yandex.ru;
Суторихин Игорь Анатольевич – д.ф.-м.н., проф., г.н.с. ИВЭП СО РАН, д.ф.-м.н., проф. с.н.с. ИВТ СО РАН, тел.: (3852) 666-502, e-mail: sia@iwep.asu.ru.