

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗЕМНОГО ПОКРОВА ОСТРОВОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Проведена тематическая классификация земного покрова островов Куйбышевского водохранилища с использованием спектральных снимков спутника дистанционного зондирования Landsat 8 OLI. Наибольшую точность из трех методов классификации показала контролируемая классификация по спектральному углу (Spectral Angle Mapping). Проведена площадная оценка типов земного покрова островов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; геоинформационные системы; островные экосистемы; земной покров.

Введение

Куйбышевское водохранилище является крупнейшим в акватории реки Волги и третьим в мире по площади. Образованное в 1955 г., оно имеет длину более чем 500 км, площадь водного зеркала составляет 6.45 тыс. км², общий объем воды – 58 км³, из которых 34 км³ – полезный объем. Максимальные глубины при нормальном подпорном уровне (53 м) достигают 41 м (Куйбышевское ..., 1983).

Острова Куйбышевского водохранилища являются уникальными наземными экосистемами, которые сохраняют генофонд растительного и животного мира бывших пойменных грив и террас, имеют разнообразный почвенный покров и являются высокопродуктивными природно-территориальными комплексами (Куйбышевское ..., 2007). С учетом природоохранной роли островов Куйбышевского водохранилища необходима объективная оценка природно-ресурсного потенциала каждого острова, его санитарного состояния, уровня возможной рекреационной нагрузки (Экологические ..., 2002).

Земной покров (land cover) является одним из основных элементов экосистем, контролирующим круговорот и обмен вещества и энергии как внутри, так и между различными экосистемами во времени и пространстве. Классификация земного покрова необходима для диагностического и прогнозирующего моделирования функционирования экосистем. Таким образом, она является мощным инструментом мониторинга естественных и антропогенных изменений земного покрова и важна в оценке влияния этих изменений на локальные и глобальные процессы (Bonan, 1997). Дистанционное зондирование на сегодняшний

день является основным и наиболее эффективным источником данных для оценки и мониторинга земной поверхности (Sateesh, 2011).

Материалы и методы

Предварительная обработка данных

Для данной работы был использован участок водохранилища в пределах Казанского района переменного подпора (КРПП) от плотины Чебоксарской ГЭС (56°08'33.2»N; 47°27'57.1»E) до пос. Займище (55°47'59.1»N; 48°50'00.8»E) (рис. 1).

Для классификации земного покрова островов Куйбышевского водохранилища использовались спектральные снимки спутника Landsat 8 OLI от 15 июля 2013 года (171 полоса, 21 ряд). Спектральные слои предоставляются в проекции UTM 39, система координат WGS 84. Снимки были получены с помощью сервиса USGS Global Visualization Viewer (www.glovis.usgs.gov).

В данной работе использовались следующие спектральные каналы: B2 (blue), B3 (green), B4 (red), B5 (NIR), B6 (SWIR2), B7 (SWIR3). Цифровые значения яркости спектральных каналов конвертировались в коэффициент отражения верхних слоев атмосферы (top of atmosphere reflectance, TOA) (Bruce, 2006; Landsat ..., 2015). Первый этап конвертации заключался в переводе значений DN (Digital Numbers) спектральных каналов в значения яркости (Radiance), используя параметры калибровки сенсоров спутника (1):

$$L = Gain * DN + Bias, \quad (1)$$

где

L – значение яркости, Gain- специфичный для спектра фактор масштабирования, DN – цифровое значение спектрального канала, Bias – специфичный для спектра добавочный фактор масштабирования.

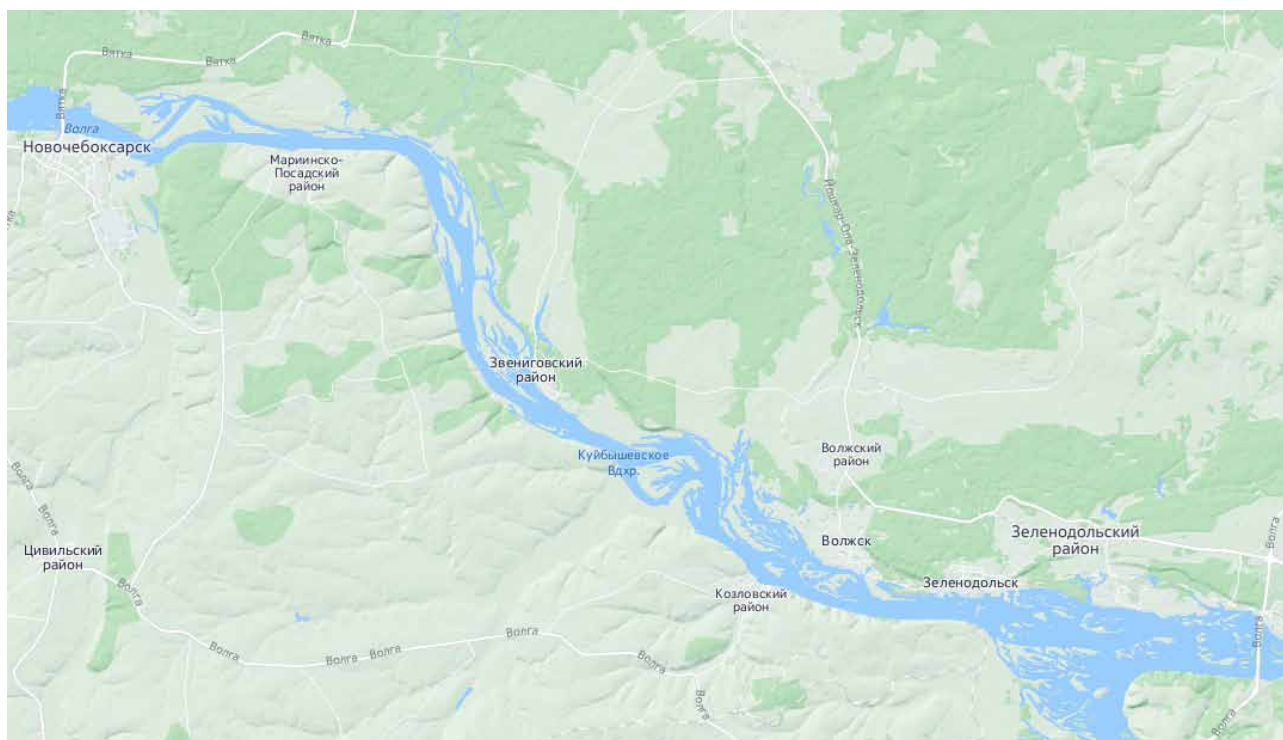


Рис. 1. Участок Куйбышевского водохранилища, используемый для классификации земного покрова

Второй этап конвертации заключался в вычислении значений TOA с использованием значений яркости (2):

$$TOA = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * \cos \theta_s}, \quad (2)$$

где

L_{λ} – значение яркости, измеренное сенсором, d – расстояние от Земли до Солнца в астрономических единицах, $ESUN_{\lambda}$ – среднее солнечное экзо-атмосферное излучение, θ_s – зенитный угол Солнца.

После конвертации проводилась атмосферная коррекция для устранения искажающих эффектов атмосферы и преобразования значения отражения в фактические значения, которые получились бы при измерении с поверхности земли. В данной работе использовался метод DOS 1 (Dark Object subtraction) (Song, 2001).

Классификация земного покрова

Для классификации земного покрова использовались следующие методы:

- 1) неконтролируемая классификация по максимальному правдоподобию (Unsupervised Maximum likelihood classifier);
- 2) контролируемая классификация с алгоритмом максимального правдоподобия (Supervised Maximum likelihood classifier);
- 3) контролируемая классификация с картированием по спектральному углу (Supervised Spectral Angle Mapping).

Неконтролируемая классификация подразуме-

вает автоматизированную генерацию спектральных сигнатур (значения отражений поверхности в зависимости от длины волны) типов земного покрова. Используя метод кластеризации k -средних, выделяются кластеры пикселей, основанные на их значениях спектральных отражений. Кластеры пикселей представляют собой категории, которые можно отнести к определенному типу земного покрова.

В случае контролируемых классификаторов задавались тренировочные области, покрывающие гомогенные типы поверхности. Для того чтобы присвоить номер класса, области обучения дешифровались с помощью комбинаций спектральных снимков. В дальнейшем эти области использовались для описания спектральных сигнатур классов.

Классификация по алгоритму максимального правдоподобия предполагает нормальное распределение значений отражения для каждого класса и вычисляет вероятность принадлежности отдельного пикселя к определенному классу. Дискриминантная функция, описанная Richards и Jia (2006), для каждого пикселя вычисляется согласно уравнению (3):

$$g_k(x) = \ln p(C_k) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_k| - \frac{1}{2} (x - y_k)^t \Sigma_k^{-1} (x - y_k), \quad (3)$$

где

C_k – класс земного покрова k ;

x – вектор спектральной сигнатуры пикселя;

$p(C_k)$ – вероятность корректности класса C_k ;

$|\Sigma_k|$ – детерминант ковариационной матрицы данных в классе C_k ;

y_k – вектор спектральной сигнатуры класса k .

Алгоритм картирования по спектральному углу вычисляет спектральный угол между спектральной сигнатурой пикселя карты и тренировочной спектральной сигнатурой (Kruse, 1993). Вычисление происходит согласно формуле (4):

$$\theta(x, y) = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{(\sum_{i=1}^n x_i^2)^{\frac{1}{2}} (\sum_{i=1}^n y_i^2)^{\frac{1}{2}}} \right), \quad (4)$$

где

x – вектор спектральной сигнатуры пикселя снимка;

y – вектор спектральной сигнатуры тренировочной области;

n – количество спектров изображения.

Оценка точности

Точность методов классификации оценивалась по матрице ошибок, представляющая собой таблицу сравнения итоговой карты с эталонными значениями (Congalton, 2009). Для этого создавались 100 случайно распределенных по области изучения проверочных участков разного размера. Проверочным участкам в процессе визуальной дешифровки присваивался класс земного покрова. В дальнейшем значения классов проверочных участков сравнивались со значениями результата классификации. Используя тематическую карту с наименьшим значением ошибки, был получен классификационный отчет для островов Казанского района переменного подпора.

Программное обеспечение

Предварительная обработка снимков Landsat, контролируемая классификация и финальная компоновка карт проводились с использованием геоинформационной системы QGIS (QGIS..., 2015) и модуля Semi-Automatic classification Plugin (Congedo, 2013). Неконтролируемая классификация и оценка точности проводились с помощью ГИС GRASS (GRASS..., 2012).

Результаты и их обсуждение

Результатом применения метода неконтролируемой классификации является избыточное количество категорий, созданных методом кластеризации k -средних. Избыточность обусловлена варьированием значений отражения в пределах одного типа земной поверхности. Дальнейшая работа заключалась в определении классификационной принадлежности автоматически созданных категорий с помощью визуальной дешифровки снимков. Финальным результатом стала тематическая карта, содержащая 6 классов земного покрова (табл.1). Фрагмент итоговой тематической карты представлен на рисунке 2а.

При проведении контролируемой классификации, в отличие от предыдущего варианта, количество итоговых классов было определено на этапе задания участков обучения (табл.2).

Спектральные сигнатуры тренировочных участков представлены на рисунке 3. Контролируемая классификация проводилось с использо-

Таблица 1. Классы неконтролируемой классификации

Класс	Тип земного покрова
Water	Водные объекты
Sand	Песчаные берега, намытые пески, почвы с легким ГМС
Soil	Открытые участки почвы, почва с разреженной растительностью
Grass/Deciduous	Травянистая растительность, лиственные леса
Coniferous	Хвойные леса
Unclassified	Неклассифицированные объекты

Таблица 2. Классы контролируемой классификации

Класс	Тип земного покрова
Water	Водные объекты
Sand	Песчаные берега, намытые пески почвы с легким ГМС
Soil	Открытые участки почвы
Grass/Deciduous	Травянистая растительность, лиственные леса
Coniferous	Хвойные леса
Soil/Grass	Почва с разреженной растительностью

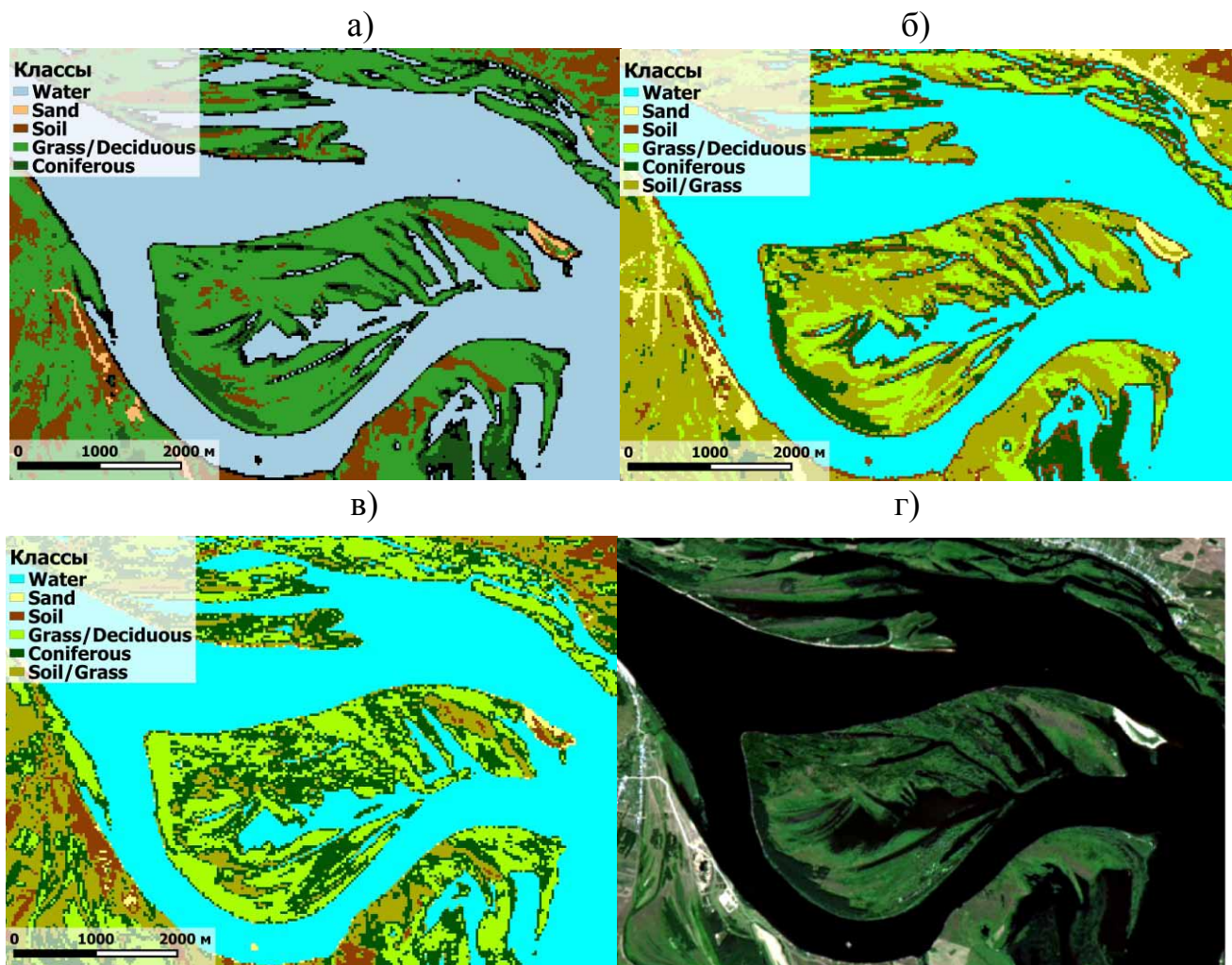


Рис. 2. Фрагмент итоговых карт земного покрова: а) неконтролируемая классификация, б) контролируемая классификация по алгоритму максимального правдоподобия, в) контролируемая классификация по спектральному углу, г) комбинация каналов В4, В3 и В2

ванием двух математических подходов обработки спектральных сигнатур: метод максимального правдоподобия (рис. 2б) и классификация по спектральному углу (рис. 2в).

При классификации земного покрова на точность результата влияет разрешение спектральных снимков. Разрешение снимков спутника Landsat 8 составляет 30x30 м, поэтому при попадании в одну ячейку снимка объектов меньше разрешающей способности снимка (отдельные дома, дачные участки и т.п.) значение коэффициента отражения пикселя является линейной комбинацией коэффициентов отражений всех типов поверхности, попадающих в этот пиксель, что приводит к неоднозначной классификации.

Из-за схожести спектральных сигнатур урбанизированных объектов размером меньше разрешающей способности спутниковых снимков с сигнатурами открытой почвы, классификатор не смог их однозначно различить (рис. 3).

Поэтому было принято решение не вводить отдельный класс для урбанизированных территорий. Это не играет значительной роли в площадной оценке типов покрова островов из-за отсутствия объектов урбанизации на всех островах исследуемой зоны (кроме одного острова), но может приводить к значительной погрешности в оценке земного покрова прибрежной территории Куйбышевского водохранилища.

По результатам проверки методы контролируемой классификации показали более высокую точность. Различия в оценке точности методов максимального правдоподобия и картирования по спектральному углу значительны для некоторых классов, однако показывают одинаковую общую точность. Результаты проверки точности классификации представлены в таблице 3.

Использование классификации по спектральному углу позволило наиболее безошибочно

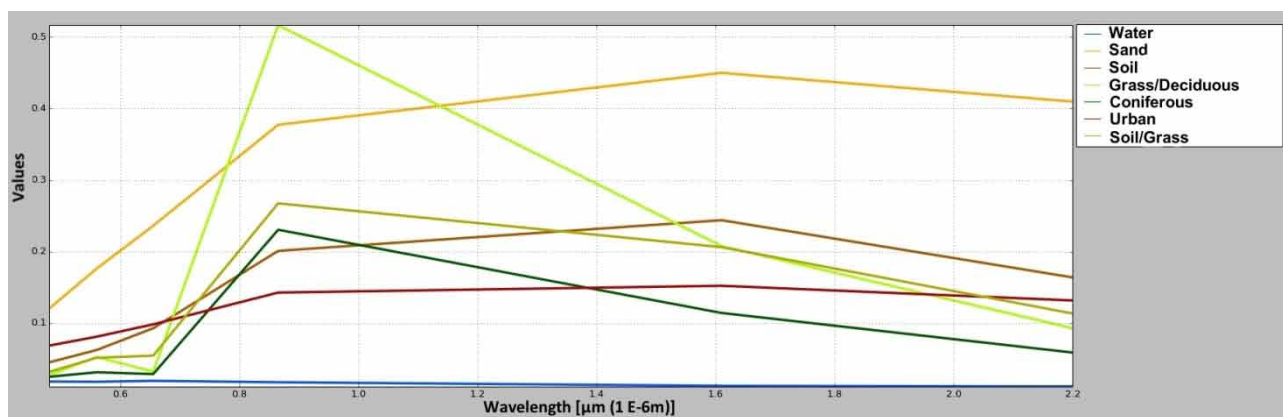


Рис.3. Спектральные сигнатуры тренировочных участков

Таблица 3. Точность классификации, %

Класс	Неконтролируемая	Контролируемая (спектральный угол)	Контролируемая (макс. правдоподобие)
Water	93.8	99.0	99.0
Sand	100.0	100.0	100.0
Soil	76.9	40.0	50.0
Grass/Deciduous	80.1	70.3	44.4
Coniferous	42.2	50.3	84.4
Soil/Grass	-	87.7	98.6
Общая точность	88.1	91.9	91.8

точно определить площади различных классов земного покрова и их площадное соотношение (табл. 4).

Таблица 4. Классификационный отчет

Класс	Острова КРПП	
	Процент покрытия	Площадь, км ²
Water	4.3	3201.4
Sand	0.4	297.4
Soil	1.0	766.9
Grass/Desiduous	46.9	34951.2
Coniferous	40.4	30065.3
Soil/Grass	6.9	5195.9

Заключение

Проведенная работа по классификации земного покрова позволила оценить пригодность методов анализа данных дистанционного зондирования для мониторинга островов Куйбышевского водохранилища. Метод контролируемой классификации по спектральному углу показал лучшие результаты, чем неконтролируемая классифика-

ция и контролируемая классификация с алгоритмом максимального правдоподобия. Несмотря на выявленные потенциальные проблемы процесса классификации, полученные карты могут служить дополнительным предиктором при геостатистическом моделировании, а также служить целям анализа антропогенных и естественных изменений островных экосистем.

Список литературы

1. Куйбышевское водохранилище: экологические аспекты водохозяйственной деятельности. Казань: Изд-во «Фон-лиант», 2007. 320 с.
2. Куйбышевское водохранилище. Л.: Наука, 1983. 214 с.
3. Экологические системы островов Куйбышевского водохранилища / Под. ред. В.А. Бойко. Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2002. 360 с.
4. Bonan G. Effects of land use on the climate of the United States // Climatic Change. 1997. №37. P. 449-486.
5. Bruce C., Hilbert D. Pre-processing Methodology for Application to Landsat TM/ETM+ Imagery of the Wet Tropics // CSIRO Tropical Forest research Centre and Rainforest CRC. 2006. 46 p.
6. Congalton R., Green K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009. 200 p.
7. Congedo L., Munafò M., Macchi S. Investigating the relationship between land cover and vulnerability to climate change in Dar es Salaam. Working Paper, Rome: Sapienza University, 2013. 58 p.

8. GRASS Development Team. Geographic resources analysis support system (GRASS) software. Open source geospatial foundation project. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://grass.osgeo.org>, свободный. (Дата обращения: 26.05.2015 г.).
9. 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. № 44. P. 145-163.
10. Landsat 8 (L8) data users handbook. EROS. Sioux Falls. South Dakota, 2015. 106 p.
11. QGIS Development Team. QGIS geographic information system. Open source geospatial foundation project. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://qgis.osgeo.org>, свободный. (Дата обращения: 26.05.2015 г.).
12. Richards J.A., Jia X. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Berlin, Germany: Springer, 2006. 388 p.
13. Sateesh K., Sandip G. Land use and Land Cover mapping using digital classification technique in Tikamgarh district, Madhya Pradesh // India using remote sensing. 2011. №2. P. 519-529.
14. Song C., Woodcock C.E., Seto K.C., Lenney M.P., Scot A.M. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to correct Atmospheric Effects? // Remote Sensing of Environment. 2001. № 2. P. 230-244.

S.S. Ryazanov, I.A. Sachabiev, D.Z. Galimov.
Land cover classification of the Kuibyshev reservoir islands using remote sensing data

The thematic land cover classification of islands of the Kuibyshev reservoir using Landsat 8 OLI spectral imagery satellite is performed. Accuracy assessment of the three classification methods showed that the supervised classification by the spectral angle has the highest precision. Areal assessment of land cover types of islands is performed.

Keywords: remote sensing, GIS, island ecosystems, land cover, classification.