

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ДДЗ (НА ПРИМЕРЕ СНИМКОВ LANDSAT-8) ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАИБОЛЕЕ РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫХ ДАННЫХ О СПЕКТРАЛЬНО- ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВАХ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Н. А. Шестаков, Ю. С. Давидович

кафедра геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики  
Белорусского государственного университета, г. Минск,  
[nishestakov23@gmail.com](mailto:nishestakov23@gmail.com), [seg98001@gmail.com](mailto:seg98001@gmail.com)

Е. В. Казяк

старший преподаватель кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии  
и геоинформатики Белорусского государственного университета

В данной работе были сопоставлены результаты различных инструментов атмосферной коррекции (доступные в программном комплексе ENVI 5.3.) с целью выявления методов, позволяющих получить снимки с наиболее корректным спектральным откликом растительности. Для этих же целей были также изучены данные Landsat-8, имеющие различные уровни обработки.

**Ключевые слова:** Landsat-8; ENVI; атмосферная коррекция; FLAASH; QUAC; спектральная отражательная способность; КСЯ; растительность.

**Введение.** На сегодняшний день организацию хранения спутниковых данных Landsat-8, а также бесплатный доступ к ним осуществляет Геологическая служба США (United States Geological Survey). При этом пользователям предлагаются для скачивания различные пакеты данных (рисунок 1) [1].

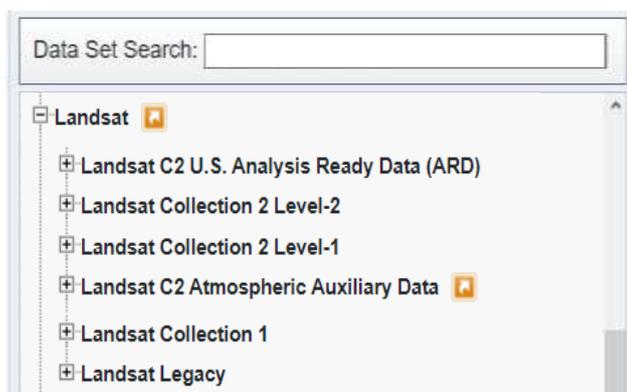


Рисунок 1 – Пакеты данных Landsat, предлагаемые USGS Earth Explorer [1]

Одной из задач настоящего исследования является определение наиболее удобного пакета мультиспектральных данных Landsat-8 для компьютерной обработки и анализа. Поэтому, для исследования были выбраны следующие виды данных Landsat-8:

- **Collection 1 Level 1** – данные без учёта влияния атмосферы и погрешностей съёмочной аппаратуры, имеющие только географическую привязку;

- **Collection 2 Level 1** – данные включают улучшения геометрических и радиометрических характеристик (в т. ч. устранение влияния помех теплового инфракрасного датчика (TIRS));

- **Collection 2 Level 2** – в пакет включены продукты выполнения атмосферной и температурной коррекции с использованием алгоритмов отражения LEDAPS и LaSRC.

Необходимость проведения компьютерных преобразований спутниковых снимков (радиометрическая калибровка, атмосферная коррекция, исправления ошибок, вызванных дефектами сенсора, изменением угла сканирования и системных помех и др.) зависит от поставленных задач (таблица 1).

Таблица 1 – Необходимость выполнения радиометрической и атмосферной коррекции спутниковых данных в зависимости от их применения [2]

Цель использования спутниковых данных	Необходимость выполнения радиометрической и атмосферной коррекции
визуальное дешифрирование объектов	–
сравнение спектральных характеристик объектов земной поверхности по разновременным снимкам	+
выполнение тематической классификации одной сцены	–
подготовка данных к объектно-ориентированной классификации	–
расчёт вегетационных индексов и их сравнительный анализ в пределах одной сцены	–
выполнение количественного анализа вегетационных индексов (сравнение со стандартными значениями, разновременный анализ)	+
сравнение спектральных профилей объектов земной поверхности, извлечённых из изображений, с эталонными спектрами	+

Следует отметить, что большинство исследований по изучению растительного покрова проводится по разновременным снимкам – как сезонным (для сельскохозяйственных посевов), так и за различные годы (изучение лесной растительности, динамики видов земель и т. п.) [3–5]. В связи с этим, ещё одна цель исследования заключалась в выявлении инструментов преобразования спутниковых снимков, позволяющих получить изображения с наиболее репрезентативными спектральными профилями растительности.

Все способы атмосферной коррекции в ENVI можно разделить на 3 группы [2]:

**1) стандартная абсолютная коррекция:**

- способ вычитания абсолютно тёмных объектов – нахождение на снимке абсолютно тёмных объектов и присвоение им значений коэффициентов отражения, равных нулю, для последующего вычитания разностей (расхождений значений с нулем) и получения скорректированных значений;

- способ эмпирической коррекции линий – вычисление спектральных характеристик объектов с использованием как минимум одного эталонного спектра

для расчёта регрессии путём проведения линии через спектры или нулевое значение отражения;

## 2) относительная атмосферная коррекция:

- *калибровка по плоской области* – получение относительных величин отражения по области интереса с плоским интервалом спектральной кривой (облака, светлые пески);

- *калибровка по внутреннему среднему относительному коэффициенту отражения* – получение относительных величин отражения по усреднённому спектру, рассчитанному по всей сцене (эффективна для аридных местностей, лишённых растительного покрова);

- *калибровка по логарифмическим вычитам* – получение относительных величин отражения задано логарифмическими уравнениями;

## 3) исправления на основе моделей атмосферы:

- *исправления с использованием модели MODTRAN (модуль атмосферной коррекции ACM)* – применение различных моделей атмосферы и моделей состава аэрозолей, по которым рассчитывается уникальное решение для сцены.

В работе были проанализированы 6 основных инструментов атмосферной коррекции, доступные в ENVI:

- *Dark Subtraction (способ вычитания абсолютно тёмных объектов),*
- *Flat Field Calibration (калибровка по плоской области),*
- *IAR Reflectance Calibration (калибровка по плоской области),*
- *Log Residuals (калибровка по внутреннему среднему относительному коэффициенту отражения),*
- *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes – FLAASH (исправление с использованием модели MODTRAN),*
- *Quick Atmospheric Correction – QUAC (исправления с использованием модели MODTRAN).*

Оценка спектрально-отражательных характеристик проводилась путём анализа кривых спектральной яркости различных типов поверхностей: растительный покров – лесная (смешанный лес) и сельскохозяйственная (тритикале озимая) растительность, почвенный покров (пашня) и водная гладь.

**Ход работы.** Исследование проводилось на базе программного комплекса ENVI (версия 5.3). Для уменьшения объёма обрабатываемой информации и ускорения процессов обработки использовался не целый снимок Landsat-8 (path 184/row 022) за 05.06.2015, а его часть (рисунок 2).

Местоположение ROI для разных типов поверхности определялось следующими критериями: отбирались участки с однородным спектральным откликом; входящая в состав ROI территория была свободна от дымки, облаков и их теней (рисунок 3).

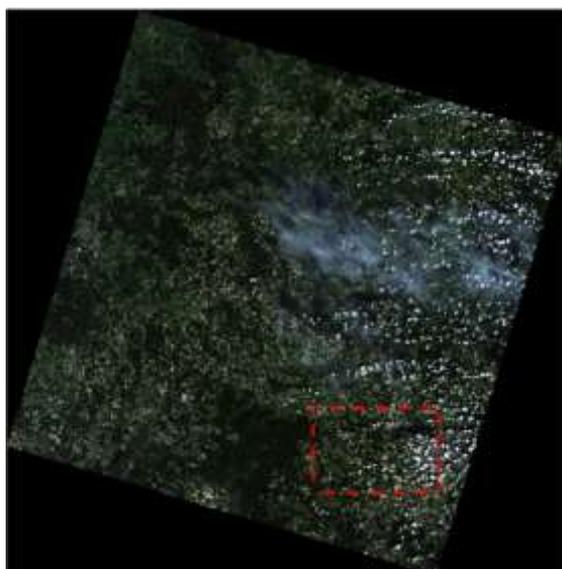


Рисунок 2 – Тестовый участок объекта исследования [1]

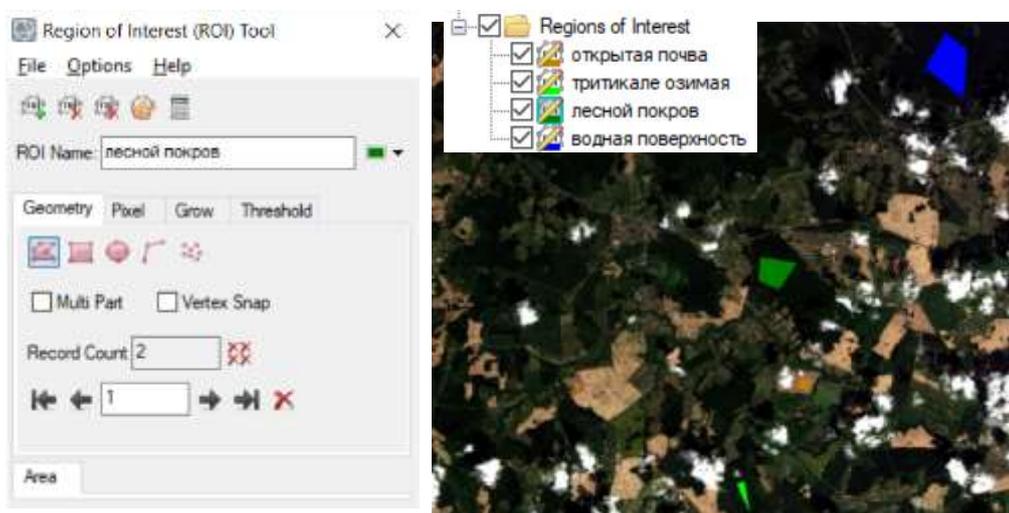


Рисунок 3 – Нанесение на фрагмент снимка областей интереса с помощью инструмента ROI Tool [2]

Из каждой области обработки были извлечены кривые спектральной яркости, представленные в виде графиков (рисунок 4–5).

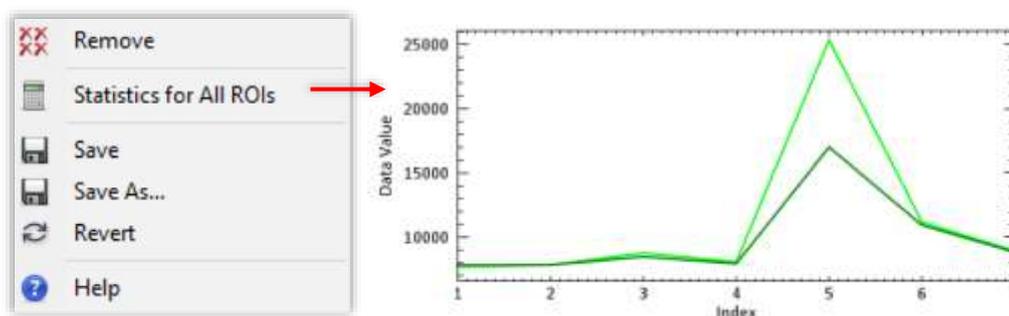


Рисунок 4 – Извлечение спектральной информации по ROI с помощью инструмента Statistics for All ROIs [2]

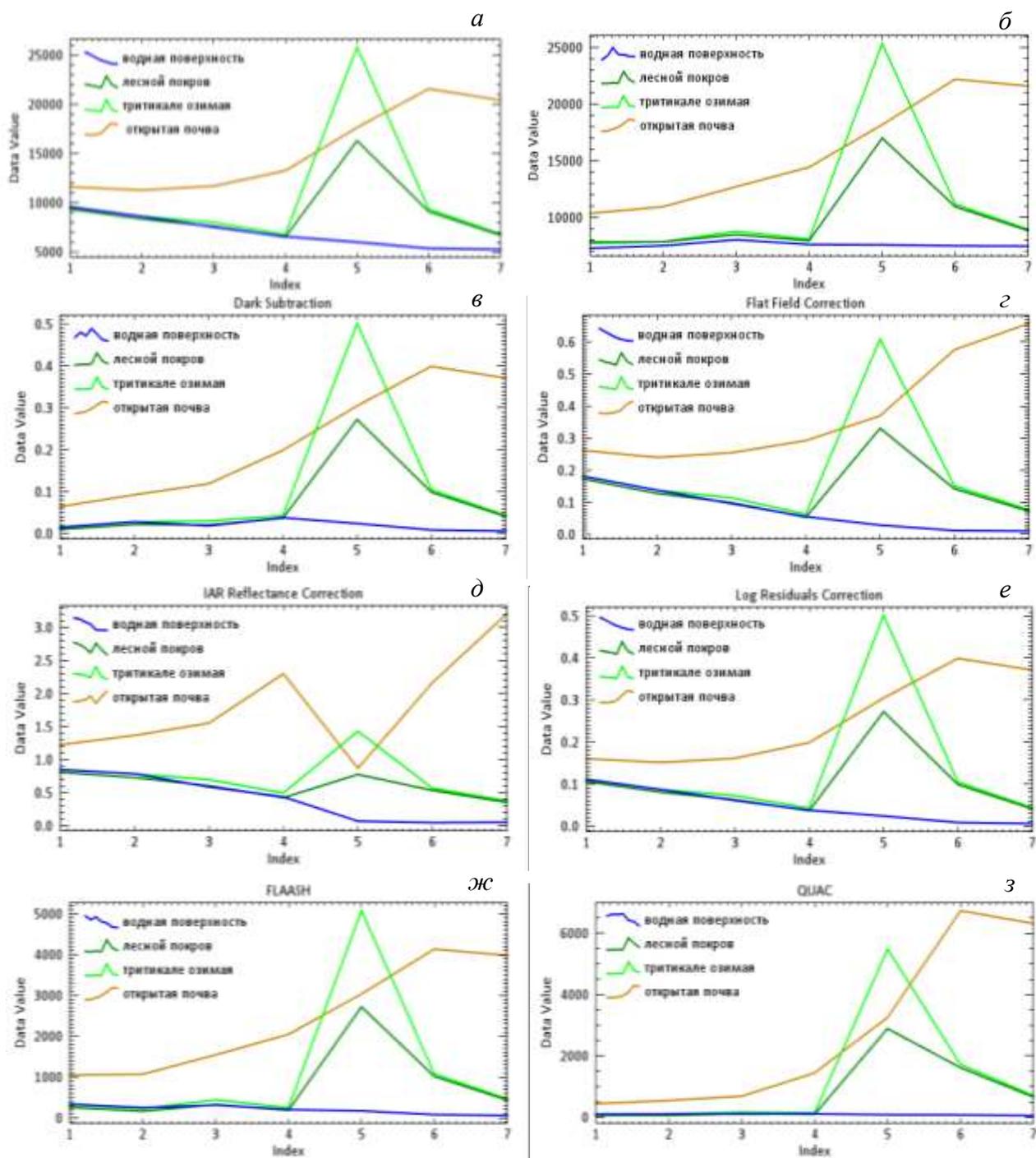


Рисунок 5 – Кривые спектральной яркости, извлеченные из ROI по снимкам:

а – снимок Collection 1 Level 1 без выполнения атмосферной коррекции; б – снимок Collection 2 Level 2; в–з – по снимку Collection 1 Level 1 с использованием различных инструментов атмосферной коррекции программного комплекса ENVI [составлено автором]

**Результаты.** Для спектральных кривых, построенных по снимку без атмосферной коррекции (рисунок 5а) отмечается следующее: значения КСЯ воды при длине волны спектра  $\lambda = 0,43-0,63$  мкм (каналы 1–4) слишком велики; для растительности отсутствует характерный максимум в зелёной зоне (3-й канал), ход спектральной кривой в начале (каналы 1–3) не соответствует общей закономерности [6] – подъём в сторону фиолетовой зоны; несколько завышенные значения

КСЯ почвы в сине-фиолетовой (1-й канал) и синей (2-й канал) зоне. Такие спектральные данные не являются репрезентативными.

Анализ отображённых на рисунке 5 графиков для КСЯ, полученных различными инструментами *атмосферной коррекции в ENVI*, представлен в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Анализ спектральных кривых по снимку, прошедшему атмосферную коррекцию с применением различных инструментов ENVI [составлено автором]

Инструменты атмосферной коррекции в ENVI	Характеристика кривых спектральной яркости объектов		
	водная поверхность	растительность	открытая почва
Dark Subtraction (рисунок 5в)	нехарактерные максимумы в синей (2-й канал) и красной (4-й канал) зоне спектра, понижение спектральной кривой в сторону сине-фиолетовой (1-й канал) зоны	слабо выражен максимум в зелёной зоне (3-й канал), в остальном – ход спектральной кривой соответствует общим закономерностям	в целом, общие закономерности соблюдаются
Flat Field Calibration (рисунок 5г)	в диапазоне волн с длиной 0,43–0,63 мкм (каналы 1–4) значения КСЯ нехарактерно большие	характерный минимум отражения в красной зоне (4-й канал), резкий рост спектральной кривой в ближней ИК-зоне (5-й канал); отсутствует максимум в зелёной зоне (3-й канал); положение спектральной кривой в начале хода завышено	спектральная отражательная способность увеличивается по мере приближения к красной зоне спектра (4-й канал), однако значения КСЯ также велики, в особенности для 1-го канала
IAR Reflectance Correction (рисунок 5д)	значения КСЯ слишком велики в начале хода спектральной кривой (каналы 1–4); в ближней зоне инфракрасного диапазона (5-й канал) наблюдается заметное снижение значений коэффициентов	отсутствует характерный максимум в зелёной зоне (3-й канал), значения КСЯ в начале хода спектральной кривой явно превышают действительные, а в ближней ИК-зоне, наоборот – занижены, особенно для лесной растительности (не наблюдается резкого подъёма спектральной кривой)	отмечается нехарактерный минимум в ближней зоне ИК-диапазона (5-й канал), а также завышенные значения в коротковолновом ИК-диапазоне (SWIR1 – 7-й канал)
Log Residuals Correction (рисунок 5е)	постепенное понижение спектральной кривой в сторону ИК-диапазона, однако в каналах 1–4 значения КСЯ слишком большие	отсутствует максимум в зелёной зоне, значения КСЯ в фиолетовой и синей зонах (каналы 1–2) не соответствуют общим закономерностям	прослеживаются общие закономерности отражения почв, за исключением 1-го канала (фиолетовая зона)

Инструменты атмосферной коррекции в ENVI	Характеристика кривых спектральной яркости объектов		
	водная поверхность	растительность	открытая почва
FLAASH (рисунок 5ж)	постепенное уменьшение отражательной способности в сторону ИК-диапазона с небольшими минимумом в синей (2-й канал) и максимумом в зелёной (3-й канал) зоне	наблюдаются характерные максимум в зелёной зоне (канал 3) и минимумы в синей и красной зонах (каналы 2, 4), также отмечен резкий рост спектральных кривых и ярко выраженный максимум в ближней ИК-зоне (канал 5)	отмечаются общие закономерности отражения почв – повышение кривой в сторону красной зоны
QUAC (рисунок 5з)	постепенное понижение кривой спектральной яркости в сторону ИК-диапазона	отсутствуют минимумы отражения в синей и красной зонах (каналы 2 и 4), максимум в зелёной зоне (канал 3) выражен крайне слабо.	наблюдается повышение КСЯ с увеличением длины волны в пределах видимого диапазона

Спектральных кривые, построенные по снимку с атмосферной коррекцией, произведённой USGS (рисунок 5б) характеризуются следующим: наблюдается слабо выраженный максимум в зелёной зоне (3-й канал) и постепенное понижение кривой спектральной яркости воды с увеличением длины волны, а также понижение в сине-фиолетовой зоне (1-й канал); у спектральной кривой растительности присутствует характерный максимум в зелёной зоне (канал 3), минимумы в синей и красной зонах (каналы 2, 4), резкое увеличение КСЯ и ярко выраженный максимум в ближней ИК-зоне (канал 5); для почв также прослеживаются общие закономерности – повышение спектральной кривой в сторону красной зоны. Для исследования растительного покрова данные могут быть применимы.

**Выводы.** В ходе анализа полученных графиков было установлено, что наиболее корректный ход спектральных кривых объектов получен на основе изображения Collection 1 Level 1 с атмосферной коррекцией, выполненной инструментом FLAASH, а также исходного изображения с атмосферной коррекцией, произведённой USGS (Collection 2 Level 2). При этом применение инструмента FLAASH оказалось более удобным с точки зрения пользователя, в сравнении с использованием данных Collection 2 Level 1 и 2 (таблица 3).

Однако, с учётом того, что с 01.01.2022 г. обработка и размещение спутниковых данных Landsat-8 службой USGS будет осуществляться исключительно в Collection 2 [1], использование данных Collection 1 становится менее актуальным.

При работе с данными пакета Collection 2 Level 1 в программном комплексе ENVI версии 5.3 требуется предварительное объединение отдельных спектральных каналов в единое мультиспектральное изображение через Layer Stacking, а затем проведение радиометрической калибровки и атмосферной коррекции методом FLAASH.

Таблица 3 – Сравнение различных инструментов атмосферной коррекции в ENVI 5.3 с позиции удобства и трудоёмкости для данных Landsat-8 [составлено автором]

Инструменты (способы выполнения) атмосферной коррекции в программном комплексе ENVI 5.3		Пакеты исходных данных												
		Collection 1 Level 1					Collection 2 Level 1					Collection 2 Level 2		
		Dark Subtraction	Flat Field Correction	IAR Reflectance Correction	Log Residuals Correction	FLAASH	QUAC	Dark Subtraction	Flat Field Correction	IAR Reflectance Correction	Log Residuals Correction		FLAASH	QUAC
Критерии сравнения	необходимость в объединении каналов через Layer Stacking	-					+					+		
	корректность значений КСЯ без проведения коррекции	-					-					+		
	необходимость проведения радиометрической калибровки	+	+	+	+	+	+/-	+	+	+	+	+	+/-	
	необходимость ввода дополнительных параметров для выполнения атмосферной коррекции	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-
	корректность значений КСЯ растительного покрова после проведения атмосферной коррекции	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+

Данные пакета Collection 2 Level 2 не требуют проведения атмосферной коррекции изображения пользователем (коррекция уже выполнена) и готовы к использованию при спектральном анализе, однако также возникает необходимость в объединении отдельных каналов через Layer Stacking.

В целом, результаты сопоставимы – изображения с коррекцией FLAASH и атмосферной коррекцией, произведённой USGS, могут быть использованы в целях извлечения спектральной информации о растительности, расчёта вегетационных индексов с последующим количественным анализом, создания спектральных библиотек, сравнения спектральных характеристик объектов по разновременным снимкам. Для ускорения рабочего процесса целесообразнее использовать готовые в отношении атмосферной коррекции спутниковые данные Landsat-8 (Collection 2 Level 2).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Earth Explorer // USGS [Electronic resources]. Mode of access: <https://earthexplorer.usgs.gov>.
2. ENVI 5.1. Руководство пользователя. М.: Совзонд, 2014. 242 с.
3. Терёхин Э.А. Информативность спектральных вегетационных индексов для дешифрирования сельскохозяйственной растительности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9 № 4. С. 243–248.

4. Казяк. Е.В., Кошно А.А. Картографирование земельного фонда Полесского государственного радиационно-экологического заповедника на основе автоматизированного дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли // Земля Беларуси. 2016. № 4. С. 30–33.

5. Отмахов Ю.С. Спектральная отражательная способность растительного покрова Сузунского бора // Сборник материалов в 2 томах Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Международного научного конгресса, 18–22 апреля 2016 г., Новосибирск: Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» Т. 1. Новосибирск: СГУГиТ, 2016. С. 25–28.

6. Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. Л.: АН СССР, 1947. 274 с.