

УДК 528.77

## ПРОГРАММА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ДЛЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ LANDSAT 8 OLI

**Шевырев С.Л.***Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН (ДВГИ ДВО РАН),  
Владивосток, e-mail: shevirev@mail.ru*

Космические изображения Landsat 8 OLI являются свободно распространяемым источником фактических данных для широкого спектра естественно-научных исследований. Наличие географической привязки изображений и метаданных обеспечивают широкую интеграцию данных Landsat 8 OLI с географическими информационными системами (ГИС). Однако для территорий пересеченного рельефа со значительной крутизной склонов (более  $40^\circ$ ), при условиях низкого возвышения Солнца, обработка изображений осложняется наличием теней и разной степенью освещенности склонов с различной экспозицией, способными вносить искажения в получаемые продукты обработки спутниковых изображений. Для преодоления возникающих сложностей используются различные алгоритмы топографической коррекции. Наибольшими преимуществами среди них обладает SCS + C как учитывающий, наряду с особенностями рельефа, и атмосферное рассеяние. В настоящее время ощущается нехватка открытого программного обеспечения для реализации алгоритма топографической коррекции SCS+C и связанных операций обработки (синтеза спектральнональных изображений, создания спутниковых индексов). Для восполнения этих недостатков предлагается инструмент – программа Landsat Shadow Remove, написанная на языке Python с использованием библиотек с открытым исходным кодом (numpy, gdal, scipy), что позволяет беспрепятственно ее исследовать и изменять. Для работы программы используются данные цифровой модели рельефа и справочные сведения по сценам космических изображений. Программа оснащена графическим пользовательским интерфейсом и интуитивна в использовании. Для начала работы достаточно указать каталог, содержащий спутниковые изображения в формате *geotiff*, загрузить файл границ области интереса, указать необходимые виды получаемых продуктов и каталог для результатов. Предлагаемые решения применимы в региональных исследованиях с использованием ГИС-технологий и спутниковых данных, а также для обучения студентов.

**Ключевые слова:** геоинформатика, Landsat, топографическая коррекция, Python, gdal

## SOFTWARE FOR THE AUTOMATIC APPLICATION OF THE TOPOGRAPHIC CORRECTION ALGORITHM FOR THE LANDSAT 8 OLI IMAGES

**Shevirev S.L.***Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: shevirev@mail.ru*

Satellite images of Landsat 8 OLI are freely distributed factual data source for the broad range of natural research. Georeferencing and metadata provide broad integration of Landsat 8 OLI data with the geographic information system (GIS). However, image processing is complicated for areas of dissected relief with the steep slope angles (greater than  $40^\circ$ ). Different slope exposition and grade of surface luminosity in case of low sun elevation angle cause shading, irregular surface exposition and cause distortion of resulting satellite image processing products. To overcome appearing difficulties different algorithms of the topographic correction could be used. The most prominent algorithm is SCS + C as accounting atmospheric diffusion in addition to relief features. Recently, there is lacking open source software for application of SCS + C algorithm and related operations (image stacking and computing of satellite image indexes). To replenish this, we propose the Landsat Shadow Remove software, programmed in Python with open source libraries (numpy, gdal, scipy) that allows to use and change it freely. Program uses data of the digital relief model and informational data on satellite images. Program has graphical user interface and may be used intuitively. Program requires to select catalogue of satellite images in the Geotiff format, load file of area of interest, point image processing formats and output catalogue. Proposed solutions could be used in regional researches using GIS technologies and satellite data as well as for teaching students.

**Keywords:** geoinformatics, Landsat, topographic correction, python, gdal

Организация региональных научно-исследовательских работ требует привлечения спутниковых данных, отражающих состояние местности и факторы развития природно-антропогенных систем. Спутниковые данные Landsat 8 OLI предоставляются пользователям уже после прохождения ими спектральной коррекции и получения географической привязки. Однако их применение в условиях расчлененного рельефа горно-таежной местности с крутыми (бо-

лее  $40^\circ$ ) склонами затруднено ввиду неравномерной освещенности территории. Эти особенности изображения могут привести к неточностям в обработке изображений и дальнейшей интерпретации результатов.

Усилия, направленные на устранение этого дефекта – топографическую коррекцию, необходимо выполнять аналитику, работающему с изображениями, что требует внесения корректив в процесс исследования и приобретения соответствующих

компетенций. Целью настоящей работы является адаптация алгоритма топографической коррекции спутниковых изображений  $SCS + C$  [1; 2] к использованию с данными Landsat 8 OLI и цифровой моделью рельефа (ЦМР) SRTM [3] и реализация его в виде автоматизированной программы *Landsat Shadow Removal (LSR)*, написанной на языке Python с применением графического интерфейса QT.

### Материалы и методы исследования

Применение методов топографической коррекции космических изображений обусловлено наличием неровностей земной поверхности и несоответствия угла падения солнечных лучей и нормали, проведенной к земной поверхности (рис. 1).

Применяемый нами алгоритм  $SCS + C$  представляет собой доработанный метод  $SCS$  (sun-canopy-sensor) и отличается от него использованием  $C$ -параметра, позволяющего учитывать особенности рассеяния света и освещенности территории. Впервые данный алгоритм был предложен авторами [1]. Вычисление значений спектральной яркости каналов дистанционного изображения производится в соответствии с формулой (1):

$$L_n = L \frac{\cos \alpha \cos \theta + C}{\cos i + C}, \quad (1)$$

где  $L_n$  – скорректированные значения спектральной яркости,  $L$  – исходные значения

спектральной яркости,  $i$  – угол падения солнечных лучей,  $\alpha$  – крутизна склона в градусах,  $\theta$  – зенитный угол Солнца,  $C$  – параметр диффузной освещенности неба и вычисляемый как отношение (2):

$$C = \frac{a}{b}, \quad (2)$$

где  $a$  – свободный член,  $b$  – угловой коэффициент уравнения линейной регрессии для зависимости  $L(\cos(i))$ , сформулированной как (3):

$$L = a + b \cos i. \quad (3)$$

В соответствии с [2], работа алгоритма топографической коррекции  $SCS + C$ , в приложении к изображениям Landsat 8 OLI, включает стадии ввода изображений и их метаданных, предварительную обработку космических изображений и цифровой модели рельефа (digital elevation model, DEM), расчет  $C$ -параметра, применение топокоррекции, реализуемой для каждого канала в отдельности, и дальнейшую заверку результата (рис. 2).

Стоит отметить, что применение данных радиолокационной модели SRTM более релевантно применению космических данных, чем использование материалов топографических съёмок, так как учитывает высоту крон деревьев и кустарниковой растительности, т.е. отражающей поверхности, наблюдаемой на космической основе.

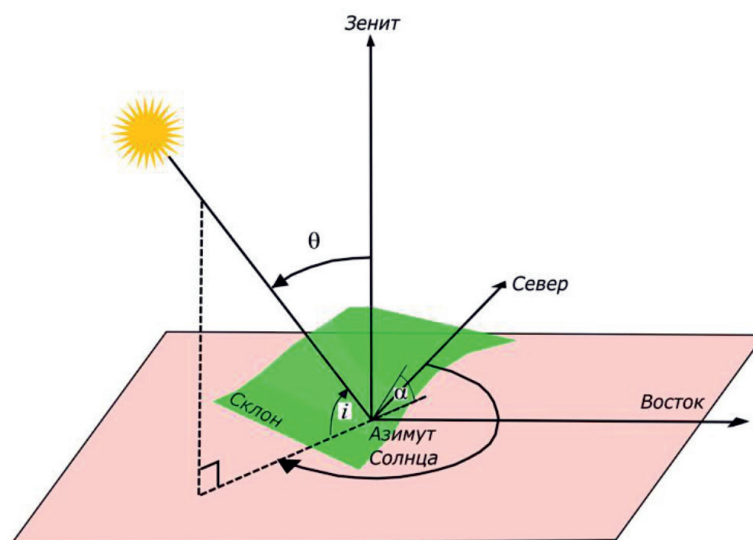


Рис. 1. Угловые величины, используемые в алгоритмах топографической коррекции (обозначения в тексте)

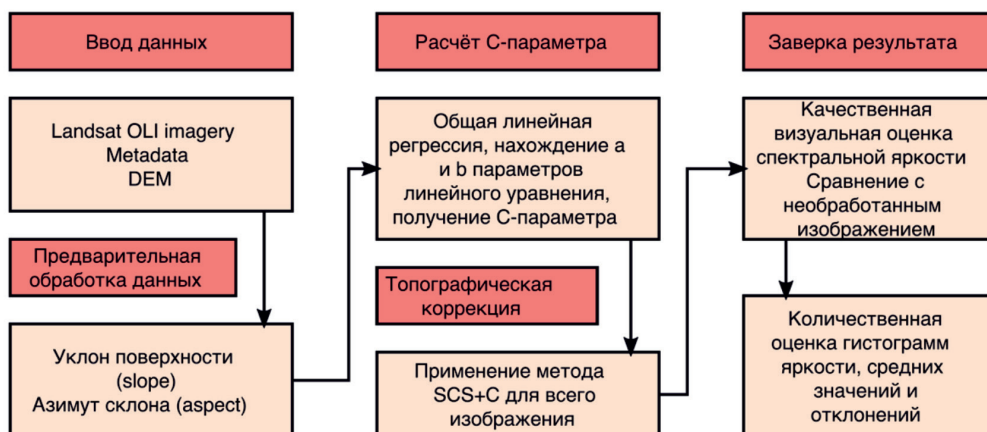


Рис. 2. Структура алгоритма SCS+C для реализации в виде программы ЭВМ (по [2], с дополнениями и изменениями)

Подготовленная на основе этого алгоритма программа Landsat Shadow Removal (LSR), представляемая с открытым исходным кодом на языке Python [4], использует в работе библиотеки *numpy* (работа с матрицами и многомерными данными), *gdal/ogr* (открытие *geotiff* и *ESRI shape* форматов), *pandas* (вывод статистической информации в виде таблиц MS Excel), *scikit-image* для трансформации SRTM-изображения к Landsat, а также библиотеки *richdem* и *elevation* (применяемые для расчета карты уклонов земной поверхности и азимута (экспозиции) склонов [5]).

Применение библиотек обработки географических данных *gdal/ogr* позволяет не только открывать популярные форматы файлов географических информационных систем, но и сохранять в этих форматах результаты обработки. Следует отметить, что использование программы подразумевает обязательное нахождение обрабатываемых данных в одной и той же метровой картографической проекции.

Визуальный интерфейс программы реализован с помощью библиотеки *pyQT* и обладает структурой, куда входят модули Input («Ввод»), Configure («Конфигурация») и Process («Обработка») (рис. 3).

С помощью модуля ввода, соответственно, выбирается каталог, содержащий космические снимки, каталог для вывода, векторный *shape*-файл, чей картографический охват (экстент) соответствует интересующей исследователя области. *Shape*-файл может быть сгенерирован в любом картографическом приложении. Если такой файл не был загружен пользователем до обработки, то используется охват первого из снимков в очереди.

Приложение использует каналы Landsat с разрешением 15 м, т.е. все имеющиеся каналы, исключая панхроматический канал 8, а также цифровую модель рельефа SRTM с разрешением 90 м, которая обрезается по охвату Landsat 8 OLI и чье разрешение приводится к Landsat за счет интерполяции.

После выбора каталога с исходными данными программа проверяет наличие там файлов и выбирает файлы с расширением имени *tif*. Файлы с таким расширением, находящиеся в одной папке, рассматриваются как относящиеся к одной спутниковой сцене и добавляются в очередь на обработку. Определение принадлежности файла к тому или иному спектральному каналу происходит на основе постфикса имени файла *\_b%N%*, находящегося перед расширением *tif*, где *%N%* соответствует номеру спектрального канала.

Исходные данные должны быть в одной и той же координатной проекции и обладать существенным перекрытием или совпадением охвата [6].

Помимо обрезки изображений по рамке площади интереса (AOI) и применения топографической коррекции, программа может формировать изображения, применимые для различных целей. В модуле конфигурации можно выбрать рассчитываемые программой комбинации спектральных каналов (4-3-2, 7-4-2, 7-6-4, 6-5-2, 4-5-3, 6-4-2, 7-6-5) и спектральные индексы. Последние включают в себя нормализованный разностный индекс растительности (NDVI), окислы железа (IOA), гидроксильные изменения (HA), глинистые минералы (CM), кумулятивные изменения (CA) и главные компоненты изображения (PC).

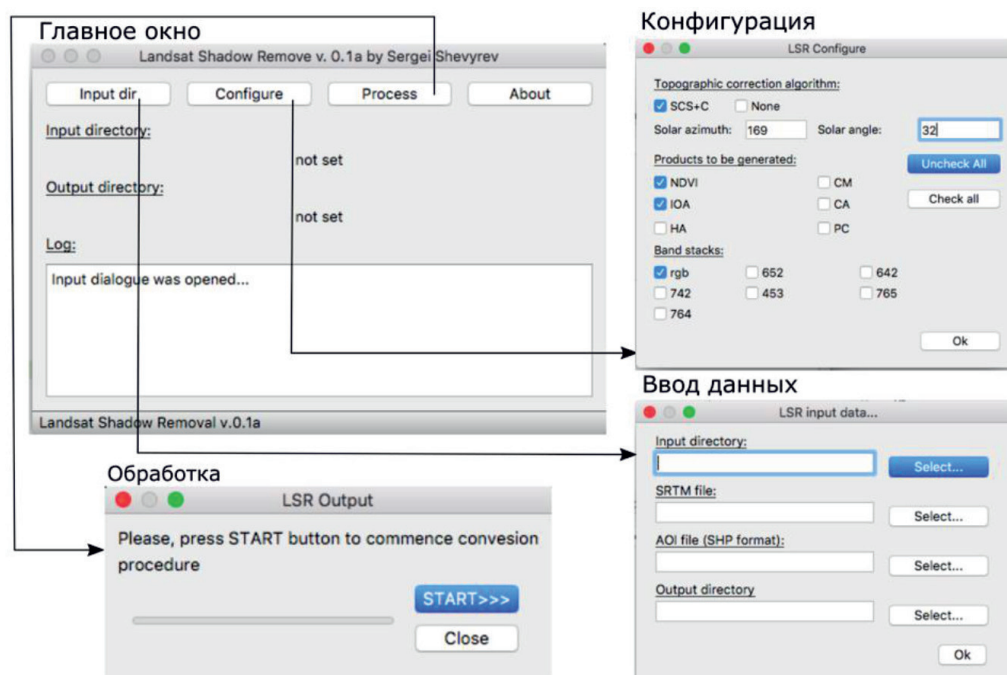


Рис. 3. Интерфейс и модули приложения Landsat Shadow Removal (LSR)

Индекс кумулятивных изменений (CA – cumulative alterations) в соответствии с [7] вычисляется как композитное изображение RGB, в котором красному каналу соответствует HA, зелёному IOA, а голубому их полусумма. Этот продукт обработки спутниковых данных позволяет установить минералы – окислы железа и гидроокислы среди вторичных изменений субстрата.

Также в окне модуля конфигурации указывается азимут Солнца и угол его возвышения над горизонтом, что и необходимо для применения топографической коррекции освещенности территории. Ход выполнения программы, возникающие при этом уведомления, предупреждения и возможные ошибки выводятся в текстовом поле, находящемся на главном окне программы и в системной консоли.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для тестирования программы использованы спутниковые данные Landsat 8 OLI, сцена (105/029), дата съемки 27 октября 2015, отражающие природные и техногенные комплексы острова Кунашир (юг Большой Курильской гряды). Спутниковые изображения этой территории могут быть использованы для идентификации полей развития гидротермальных изменений, свя-

занных с благородно- и редкометалльной минерализацией, температурных аномалий и молодых вулканических структур. Выбор сезона съемки для анализа территории острова Кунашир диктуется относительным уменьшением плотности растительного покрова, затушевывающего геологическое строение. Взаимная корреляция спектральных каналов Landsat 8 OLI для территории исследований приведена в таблице. Заметно, что между каналами с близкими длинами волн наблюдается более высокая корреляция, сохраняющаяся после применения алгоритма SCS + C.

В качестве подстилающих пород территории выступают неоген-четвертичные вулканические образования (андезиты, базальты, риолиты, дациты), а также осадочные и вулканогенно-осадочные образования, включающие морские террасы. На участках рельефа, находящегося выше снеговой линии, присутствуют скопления снега и льда [8].

Существенный перепад высот (до 600 м) вместе с относительно невысокими углами Солнца (31-32°) на снимках приводит к появлению в изображении контрастных теней, проявленных как на спектральных изображениях, так и на отношениях каналов, образуя ложные аномалии, затрудняющие анализ.



Матрица корреляции использованных каналов Landsat 8 для сцены (105/029),  
дата съемки 27 октября 2015

	band1	band2	band3	band4	band5	band6	band7
band1	1	0,998	0,975	0,970	0,523	0,155	0,187
band2	0,998	1	0,983	0,973	0,536	0,173	0,202
band3	0,975	0,983	1	0,991	0,660	0,320	0,342
band4	0,970	0,973	0,991	1	0,682	0,350	0,376
band5	0,523	0,536	0,660	0,682	1	0,857	0,841
band6	0,155	0,173	0,320	0,350	0,857	1	0,991
band7	0,187	0,202	0,342	0,376	0,841	0,991	1

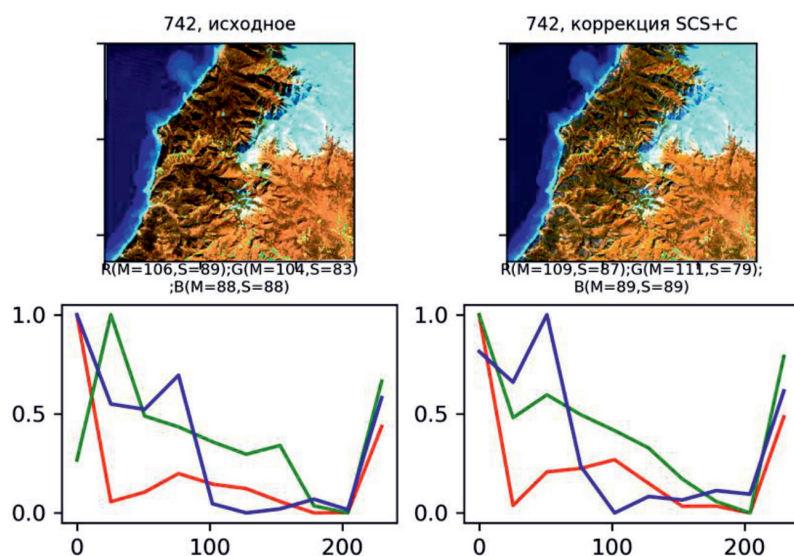


Рис. 4. Сопоставление изображений до и после применения топокоррекции, а также их гистограммы. Обозначения:  $M$  – среднее значение для канала,  $S$  – стандартное отклонение для канала; цвета графиков соответствуют каналам RGB

Устранение теней и улучшение качества изображений является важной задачей, выполненной на этапе предварительной обработки материалов. Для эффективного применения программы LSR необходимо использовать метаданные снимка, включающие азимут Солнца и его положение над горизонтом (для условий съемки возвышение Солнца над горизонтом составляет  $31,24^\circ$ , азимут светила  $163,13^\circ$ ). Сравнение фрагментов спектральнональных изображений (комбинированы каналы 7-4-2), полученных с помощью полнофункционального прототипа программы LSR с применением алгоритма SCS + C и без него, показано на рис. 4.

Сравнение результирующих изображений и их частотных кривых также свидетельствует о том, что изображение в целом стало светлее, стали менее контрастными

или исчезли тени вдоль берега моря на северо-востоке участка. Левые пики, соответствующие недостаточно экспонированным участкам на кривых, сместились правее, правые пики, соответствующие ярким отражениям снега и льда, сохранили свое положение. Рельеф участков, занятых снегом и льдом, стал менее заметным.

В абсолютных значениях яркости для красного и зеленого каналов характерно увеличение среднего значения и уменьшение стандартного отклонения. Для голубого канала наблюдается обратная картина. Участок изображения, в пределах которого наиболее заметно осветление в условиях применения топографической коррекции при качественной оценке, демонстрирует усиление детализации изображения за счет проявления форм рельефа, ранее слабо различимых в затененных участках.

### Выводы

В результате выполнения исследования, направленного на адаптацию алгоритма SCS + C для обработки данных Landsat 8 OLI, получена альфа-версия описанного приложения Python, которое может быть выполнено в системах Windows и Unix. Программа обладает интуитивным графическим интерфейсом, облегчающим освоение ее использования новыми пользователями.

Алгоритмы, реализованные в программе LSR, были использованы для предварительной оценки территории острова Кунашир с помощью метода логистической регрессии (MaxEnt) [8]. Приложение топографической коррекции LSR было написано с использованием библиотеки gdal/ogr, хорошо зарекомендовавшей себя в подготовке свободного программного обеспечения для работы с пространственными данными и отличающейся высокой скоростью и надежностью. Открытость и кросс-платформенность исходного кода программы позволяют заинтересованным исследователям применять ее в своих проектах и расширять возможности. Проект также нуждается в тестировании на новых территориях с иными условиями рельефа и отражательными характеристиками подстилающего субстрата. Наибольшая отдача при использовании программы достигается применением современных географических информационных систем, таких как QGIS, задействованных для подготовки shape-

файла области интереса и дальнейшего открытия и компоновки получаемых продуктов обработки спутниковых данных.

### Список литературы / References

1. Soenen S.A., Peddle D.R., Coburn C.A. SCS + C: A Modified Sun-Canopy-Sensor Topographic Correction in Forested Terrain. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 2005. Vol. 43. № 9. P. 2148–2159.
2. Vázquez-Jiménez R., Romero-Calcerrada R., Arrogante-Funes R., Novillo C.J. Topographic Correction to Landsat Imagery through Slope Classification by Applying the SCS + C Method in Mountainous Forest Areas. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2017. № 6 (9). P. 287. DOI: 10.3390/ijgi6090287.
3. Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A., Guevara E. Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). [Electronic resource]. URL: <http://srtm.csi.cgiar.org> (date of access: 22.09.2020).
4. Shevyrev S.L. Landsat Shadow Removal repository. [Electronic resource]. URL: <https://github.com/Sergei-Shevyrev/LSR> (date of access: 22.09.2020).
5. Barnes R., Lehman C., Mulla D. Priority-flood: An optimal depression-filling and watershed-labeling algorithm for digital elevation models. *Computers & Geosciences*. 2014. № 62. P. 117–127.
6. Libra.Developmentseed.org. Browser for open Landsat 8 satellite imagery. [Электронный ресурс]. URL: <https://libra.developmentseed.org> (дата обращения: 22.09.2020).
7. Aydal D., Arda E., Dumanlilar Ö. Application of the Crôsta technique for alteration mapping of granitoidic rocks using ETM + data: case study from eastern Tauride belt (SE Turkey). *International Journal of Remote Sensing*. 2007. Vol. 18. № 17. P. 3895–3913.
8. Шевырев С.Л. Моделирование пространственного распределения эпитепимального оруденения острова Кунашир с помощью данных Landsat 8 и метода логистической регрессии // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 9. С. 126–132.
- Shevyrev S.L. Modeling of the spatial distribution of the epithermal mineralization of Kunashir island with the Landsat 8 data and logistic regression method // *Advances in current natural sciences. Earth sciences*. 2020. № 9. P. 126–132 (in Russian).