

# АНАЛИЗ И ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЗЗ ИЗ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ СИСТЕМ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

И.Е. Родин (КБ «Панорама»)

В 2017 г. окончил факультет прикладной космонавтики и фотограмметрии Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК) по специальности «геоинформационные системы». После окончания университета работает в КБ «Панорама», в настоящее время — программист.

Точное земледелие (precision agriculture) — это система управления продуктивностью посевов сельскохозяйственных угодий, основанная на комплексном использовании систем глобального позиционирования, данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, технологий оценки урожайности и геоинформационных систем (ГИС).

Построение и использование информационных систем точного земледелия требует большого количества регулярно обновляемой пространственной информации, получаемой средствами ДЗЗ [1]. Для использования в системах точного земледелия эти данные должны обладать высоким пространственным разрешением из-за небольшого размера исследуемых объектов и значительной повторяемостью (периодичностью) съемки одной и той же территории при мониторинге состояния земель, а спектральные диапазоны каналов приема съемочных систем ДЗЗ — быть пригодными для изучения состояния почвы и биомассы (напрямую или с помощью различных вегетационных индексов).

Пространственная информация, получаемая с помощью съемочных систем ДЗЗ из космоса, поставляется коммерческими организациями или находится в открытых источниках научных миссий. В первом случае данные

могут быть заказаны с большого числа космических аппаратов (КА) ДЗЗ гражданского назначения, с заданным уровнем обработки, геопространственной привязкой и в необходимой проекции. Самостоятельный анализ и подготовка данных из открытых источников требует дополнительных затрат по времени, но увеличивает экономическую эффективность систем точного земледелия, что в некоторых случаях может иметь решающее значение.

В данной статье рассматриваются пространственные данные ДЗЗ из космоса, доступные из открытых источников, и необходимые процедуры их автоматизированной обработки для использования в информационных системах точного земледелия.

## ▼ Научные программы мониторинга Земли из космоса

Существует несколько глобальных научных программ наблюдения Земли из космоса, предоставляющих открытый доступ к своим данным. Остановимся на некоторых из них.

Программа Copernicus с семейством КА дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства (ESA) — Sentinel-1, Sentinel-2 и Sentinel-3 — создана в рамках проекта глобального мониторинга в интересах охраны окружающей среды и безопасности (GMES).

Наиболее продолжительным проектом по получению космических снимков Земли является программа Landsat Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) Министерства торговли США. Первый КА — Landsat 1 был запущен в 1972 г., а последний — Landsat 8 в 2013 г. Данные со всех КА миссии находятся в открытом доступе.

В 1999 г. Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA) по программе системы наблюдения Земли EOS на солнечно-синхронную орбиту вокруг Земли был запущен транснациональный научно-исследовательский КА EOS-AM1 (Terra), включающий пять съемочных систем. Для решения задач точного земледелия представляют интерес две из них: ASTER для гиперспектральной съемки (14 каналов в диапазоне 0,52–11,65 мкм) и стереосъемки (в диапазоне 0,76–0,86 мкм) и MODIS для гиперспектральной съемки (36 каналов в диапазоне 0,45–14,36 мкм).

Целям точного земледелия соответствуют только данные, получаемые с действующих съемочных оптико-электронных систем космических аппаратов Sentinel-2, Landsat-7, Landsat-8 и EOS AM-1, основные характеристики которых приведены в табл. 1.

Данные предоставляются в открытых форматах, но не все форматы полностью свободны от патентов (например, JPEG2000). Работа с растрами в формате TIFF поддерживается всеми современными ГИС, в то время как форматы HDF и JPEG2000 менее распространены и для работы с ними может потребоваться конвертация, импорт во внутренний формат (ERDAS Imagine) или обновление библиотек нижнего уровня (GDAL в QGIS). Для конвертации и перепроецирования растров в формате HDF NASA предоставляет бесплатный инструмент с режимом работы через командную строку — HDF-EOS To GIS Conversion Tool (HEG).

Все поставщики предоставляют доступ к данным по протоколу HTTP, что обеспечивает простоту и удобство их встраивания в информационные системы. Для доступа к некоторым источникам требуется бесплатная регистрация.

▼ **Подготовка данных ДЗЗ из космоса**

Пространственное разрешение снимков с КА Landsat может быть увеличено до 15 м с помо-

щью слияния с панхроматическим (PAN) каналом. В некоторых приложениях, например, при расчете вегетационных индексов, слияние с PAN-каналом используется для увеличения количества пространственной информации [2].

Для определения уровня обработки данных ДЗЗ существует общепринятая модель, описанная NASA во время работы над программой EOS [3]. В этой модели все процедуры радиометрической и геометрической коррекции распределяются по нескольким уровням обработки данных со съемочных систем: с уровня 0 для необработанных («сырых») изображений до уровня 3–4 для скорректированных и ортотрансформированных снимков в заданной проекции. На практике поставщики данных часто отходят от этой модели и используют собственные уровни обработки.

Данные ДЗЗ из различных источников должны быть приведены к единому, более высокому уровню обработки. Для этого может потребоваться пересчет значений снимков к альбедо земной поверхности (Surface Reflectance, SR) с выполнением атмосферной коррекции, опре-

деление областей, покрытых облаками, и поиск теней от них. Возможные уровни обработки данных, получаемых с помощью рассматриваемых съемочных систем, приведены в табл. 2.

Данные с КА Landsat 7 и Landsat 8 предоставляются в виде цифровых значений съемочных систем (Digital Number, DN) с выполненной радиометрической коррекцией (устранение искажений съемочной системы на основе регулярных рекалибровок) и геометрической коррекцией (устранение искажений перспективы и неровностей рельефа с использованием наземных контрольных точек (GCP) и цифровой модели рельефа (DEM)) [4]. Данные второго уровня в виде альбедо земной поверхности с коррекцией на угол солнца и влияние атмосферы доступны только по запросу, но могут быть рассчитаны по формулам на основе метаданных из других снимков того же места съемки (Ibid.) с применением любого подходящего алгоритма атмосферной коррекции.

Для данных AST\_L1T требуется конвертация к отражающей способности атмосферы (предоставляется скрипт на языках

Основные характеристики данных с космических аппаратов из открытых источников

Таблица 1

Космический аппарат	Съемочная система	Данные	Пространственное разрешение, м	Периодичность съемки, дней	Временной охват	Формат данных	Поставщик
EOS AM-1	MODIS	MOD13Q1	250	16	18.02.2000 г. — н. в.	HDF	LP DAAC Data Pool, Amazon Web Services (MOD09GQ)
		MOD09GQ	250	1	24.02.2000 г. — н. в.		
	ASTER	AST_L1T	15	16	04.03.2000 г. — н. в.		
Landsat 7	ETM+	L1TP, L1GT, L1GS	30 (15)	16	01.04.1999 г. — н. в.	TIF	Google Cloud Platform, Amazon Web Services
Landsat 8	OLI+ TIRS	L1TP, L1GT, L1GS	30 (15)	16	01.07.2013 г. — н. в.	TIF	Google Cloud Platform, Amazon Web Services
Sentinel-2	MSI	L1C, L2A	10	5	30.07.2015 г. — н. в.	JP2	Google Cloud Platform, Amazon Web Services, Copernicus Open Access Hub (API)

Уровни обработки исходных данных ДЗЗ из космоса

Таблица 2

Съемочная система	Данные	Тип данных	Атмосферная коррекция	Маска облачности	Маска тени облаков
MODIS	MOD13Q1 MOD09GQ	VI SR	Не требуется Не требуется	Есть в VI Quality канале Есть в QC канале	
ETM+	L1TP, L1GT, L1GS	DN	DOS, FLAASH, 6S	Есть в QA канале	FMask
OLI+TIRS	L1TP, L1GT, L1GS	DN	DOS, FLAASH, 6S	Есть в QA канале	FMask
MSI	L1C, L2A	TOA	DOS, FLAASH, 6S, S2AC	В L1C есть маска облаков Scene Classification Map (SCM) Quality Indicators (QI)	
ASTER	AST_L1T	At-sensor radiance	DOS, FLAASH, 6S	ACCAA NACMA	NACMA

Python или R, позволяющий автоматизировать обработку) [5] и выполнение атмосферной коррекции.

Существует несколько «простых» способов коррекции влияния атмосферы, не требующих дополнительной информации о состоянии атмосферы в момент съемки. Например, методы эмпирической линии (Empirical Line) [6] и различные варианты вычитания темной области (Dark Object Subtraction, DOS) [7]. Выбор конкретного метода зависит от типа прикладных задач и предполагаемого содержания сцен.

После радиометрической коррекции до отражающей способности поверхности данные, получаемые с помощью различных съемочных систем, можно рассматривать как схожие [8], но остаются различия, вызванные отличиями диапазонов каналов. В задачах расчета вегетационных индексов имеются

методы коррекции значений расчетов различных съемочных систем [9].

Данные съемочной системы MSI с КА Sentinel-2 предоставляются с уровнем обработки L1C в виде альбедо на верхней границе атмосферы (Top-Of-Atmosphere Reflectance, TOA) с выполненной радиометрической и геометрической коррекцией. Обработка этих данных до уровня L2A возможна с помощью бесплатной программы SEN2COR. Утилита позволяет выполнить атмосферную коррекцию на основе модели переноса излучения LIBRADTRAN, получить маски различных типов облаков и каналы оценки качества (рис. 1).

Данные съемочной системы MODIS имеют высокий уровень обработки и предоставляются сразу с коррекцией влияния атмосферы, поэтому не требуют дополнительной обработки [10].

Следующий этап подготовки данных — исключение областей,

покрытых облаками. В метаданных снимков с КА Landsat 7 и Landsat 8 имеется специальный канал оценки качества с маской облаков. Для данных с КА Sentinel-2 маска облаков автоматически создается при обработке в программе SEN2COR. С данными, получаемыми с помощью съемочной системы ASTER, маска облаков не предоставляется, но существует несколько алгоритмов ее создания: «классический» алгоритм ACCAA [11] и его улучшенная версия NACMA [12]. Данные со съемочной системы MODIS с уровнем обработки MOD09GQ содержат маску облаков в специальном канале, а с уровнем обработки MOD13Q1 — значение индекса NDVI на основе наблюдений за 16 дней и не нуждаются в коррекциях.

Организация спутникового мониторинга сельскохозяйственных угодий сопряжена с получением вегетационных индексов, характеризующих раз-



Рис. 1

Снимок Sentinel-2 MSI в естественных цветах до (слева) и после (в центре) атмосферной коррекции, маска облачности и тени от облаков после классификации утилитой SEN2COR (справа)

вите растений с учетом локальных особенностей контура пашни. Использование открытых источников для получения мультиспектральных изображений с различных космических аппаратов позволяет обеспечивать системы точного земледелия актуальными данными ДЗЗ с пространственным разрешением до 10 м и частотой съемки в 1–16 дней.

Таким образом, использование пространственных данных ДЗЗ из космоса, доступных из открытых источников, позволяет уменьшить стоимость поддержания систем спутникового мониторинга в актуальном состоянии, но увеличивает сложность их разработки за счет дополнительных временных затрат. Итоговое решение о выборе типа источни-

ков данных следует принимать индивидуально для каждого проекта.

Для удобства сельхозпроизводителей в программах КБ «Панорама»: GIS WebServer AGRO, «Панорама АГРО», «АРМ агронома» реализованы функции спутникового мониторинга. За счет интеграции с внешним сервисом Geosys имеется возможность получения значений вегетационных индексов с пространственной привязкой, построения карт зонирования и дифференцированного внесения удобрений (рис. 2, 3).

▼ **Список литературы**

1. Щербаков С.И. Основные этапы реализации системы точного земледелия в современном сельском хозяйстве // Вестник ФГОУ ВО МГАУ. — 2008. — № 4. — С. 56–59.

2. Johnson B. Effects of Pansharpening on Vegetation Indices // ISPRS Int. J. Geo-Inf. — 2014. — 3. — P. 507–522.

3. Parkinson C.L., Ward A., King (Eds.) M.D. Earth Science Reference Handbook — A Guide to NASA's Earth Science Program and Earth Observing Satellite Missions, National Aeronautics and Space Administration Washington, D. C. (2006).

4. Young N.E., Anderson R.S., Chignell S.M., Vorster A.G., Lawrence R., Evangelista P.H. A survival guide to Landsat preprocessing // Ecology. — 2017. — 98 (4). — P. 920-932.

5. Krehbiel C. How to Convert ASTER L1T Radiance to Top of Atmosphere Reflectance. — [https://lpdaac.usgs.gov/user\\_resources/e\\_learning/how\\_convert\\_aster\\_l1t\\_radiance\\_top\\_atmosphere\\_reflectance](https://lpdaac.usgs.gov/user_resources/e_learning/how_convert_aster_l1t_radiance_top_atmosphere_reflectance).

6. Karpouzli E., Malthus T. The empirical line method for the atmospheric correction of IKONOS imagery // International Journal of Remote Sensing. — 2010. — 24 (5). — P. 1143–1150.

7. Chavez, Jr. Pat. Image-Based Atmospheric Corrections — Revisited and Improved // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. — 1996. — 62. — P. 1025–1036.

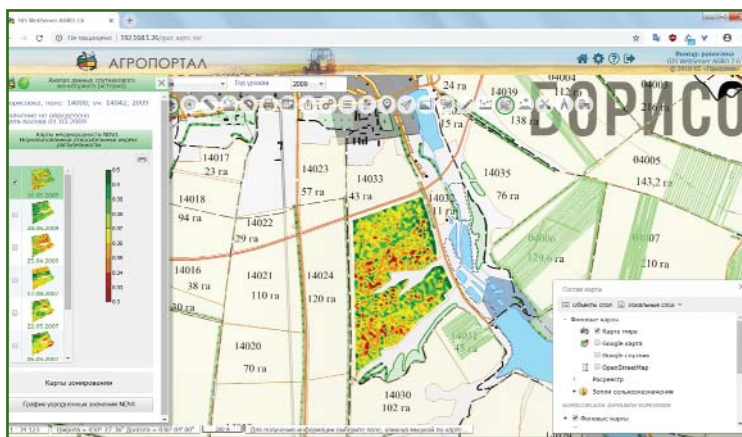
8. Stevena M.D., Malthus T.J., Barett F., Xud H., Chopping M.J. Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems // Remote Sensing of Environment. — 2003. — 88. — P. 412–422.

9. Yao X., Yao X., Jia W., Tian Y., Ni J., Cao W., Zhu Y. Comparison and Intercalibration of Vegetation Indices from Different Sensors for Monitoring Above-Ground Plant Nitrogen Uptake in Winter Wheat // Sensors. — 2013. — 13 (3). — P. 3109–3130.

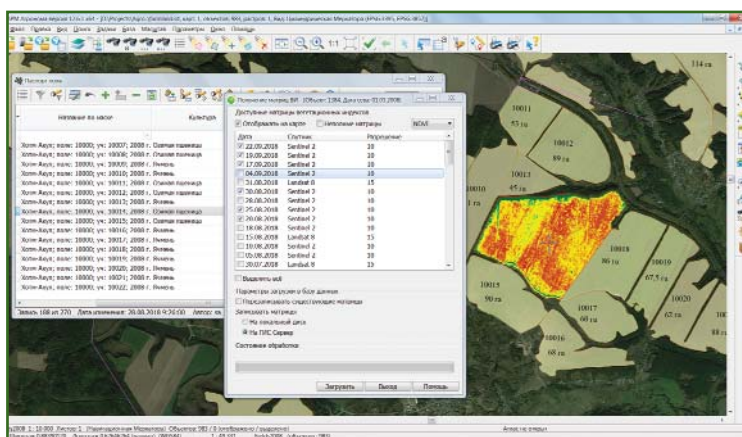
10. Vermote, E., Kotchenova, S.Y., Ray, J.P. MODIS Surface Reflectance User's Guide. Version 1. — 2008. — P. 1–40.

11. Lang H., Welch R. Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Digital Elevation Models (Standart Product AST14). Version 3. ATDB-AST-08, NASA Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, 1999.

12. Hulley G. A new methodology for cloud detection and classification with ASTER data // Geophysical research letters. — 2008. — 35 (16). — P. 1–6.



**Рис. 2**  
GIS WebServer AGRO с функциями спутникового мониторинга



**Рис. 3**  
Получение матриц вегетационных индексов по заданному контуру в «АРМ агронома»