

Спектральные различия характеристик растительного покрова тундровых сообществ сенсоров LANDSAT

В. В. Елсаков

*Институт биологии Коми научного центра УрО РАН
Сыктывкар, 167982, Россия
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru*

Выполнено сравнение спектральных величин красного и ближнего инфракрасного каналов и индекса NDVI сенсоров Landsat (TM/ETM+/OLI), полученных на смежные даты съёмки. Изображения TM и OLI имели разные сроки перекрытия периодов работы, их сопоставление достигнуто через ETM+. Интервал съёмки в парах сравниваемых сенсоров составил 1 день. Пары изображений анализировали по двум модельным участкам, локализованным в восточной части Большеземельской тундры, с доминированием кустарниковых тундр. Для рассматриваемого временного интервала 2009–2020 гг. отмечено отсутствие существенных изменений индекса NDVI. По показателю средней скорости изменений индекса NDVI преобладали фитоценозы, отнесённые к классам с отсутствием (65,1 %) или слабыми положительными (28,5 %) изменениями. Несмотря на существенную разницу протяжённости диапазонов NIR-канала для сенсоров OLI (0,85–0,88 мкм) и ETM+ (0,77–0,90 мкм), значения спектральной яркости для тундровых фитоценозов обнаруживают незначительные отклонения. Смещения спектральных величин для разных участков и лет съёмки по критерию относительной процентной разницы (RPD, %) имели сходные амплитуды отклонений для классов растительного покрова сравниваемых пар. Сенсоры ETM+ в сравнении с TM системно завышали показатели по NIR (1,9 %) и NDVI (7,4 %) и занижали по RED (2,6 %). Для радиометра OLI в сравнении с ETM+ отмечено слабое превышение величин для NIR-канала (1,7 %) и NDVI (4,5 %) и занижение по RED (2,3 %). Максимальные различия по индексу NDVI (в среднем по паре снимков до 11,9 %) отмечены для наиболее разнесённых во времени съёмок сенсоров OLI и TM. Это говорит о возможном источнике погрешностей при проведении межгодовых сравнений, ошибка измерений может численно превышать вариабельность показателей продуктивности растительного покрова, вызванных межгодовыми погодными особенностями.

Ключевые слова: растительные сообщества тундры, сравнение сенсоров Landsat, TM, ETM+ и OLI, сезонные и межгодовые изменения растительности

Одобрена к печати: 21.06.2021
DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-92-101

Введение

Анализ изменений спектральных показателей растительного покрова по материалам спутниковых съёмок разных лет и сезонов является ключевым в выявлении трендов их трансформаций, вызванных сукцессионным, климатическим или антропогенным влиянием. Корректность используемых алгоритмов и достоверность результатов, прежде всего, связаны со степенью сопоставимости исходных материалов (спектральное, пространственное, временное и сезонное разрешение). Близкие по характеристикам сенсоры Landsat, несмотря на 50-летнюю эволюцию программы (запуск Landat-1 — 23.07.1972) (https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con), обеспечили наиболее полную возможность для сопоставления наборов данных разных лет, позволили расширить временной охват наблюдений при выявлении трендов изменений компонентов экосистем. «Модельный ряд» снимков Landsat TM/ETM+/OLI (TM — *англ.* Thematic Mapper, ETM+ — *англ.* Enhanced Thematic Mapper Plus, OLI — *англ.* Operational Land Imager) сходного пространственного разрешения и спектральных диапазонов их каналов охватил временной период 1982–2021 гг. (*рис. 1*, см. с. 93). Эволюция сенсоров Landsat обеспечена возможностью использования схожих, но не тождественных диапазонов длин волн. Различия не являются существенными при построении тематических карт, сегментации элементов изображений, анализе существенных изменений

растительного покрова. Однако несущественные трансформации, вызванные сукцессионными, сезонными или межгодовыми изменениями фитоценозов, диктуют необходимость принимать во внимание появление различий, обусловленных и самими сенсорами, что учитывается исследователями при отборе снимков для анализа трендов небольших изменений лесных (Терехин, 2020) и тундровых (Елсаков, Шанов, 2019; Лавриненко, 2011) сообществ. Наиболее простые способы минимизации различий при выполнении сравнительного анализа количественных параметров по разным сенсорам основаны на использовании абсолютных безразмерных значений коэффициентов отражения — величин, характеризующих отношение количества поступившей и отражённой от поверхности солнечной энергии (Markham, Barker, 1986). Для приведения разных сенсоров к возможности сравнения показателей привлекают установленные калибровочные коэффициенты или рассчитанные линейные функции (Aubard et al., 2019).



Рис. 1. Временные интервалы спутниковой съёмки программы Landsat (<https://www.usgs.gov>, 2020)

Этапы представленной работы включали: 1) анализ трендов изменений NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный разностный вегетационный индекс) растительных сообществ по сенсорам ETM+ для временного интервала 2009–2020 гг.; 2) сравнение различий коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) красного и ближнего инфракрасного (ИК) каналов и индекса NDVI для доминирующих растительных сообществ тундровой зоны между изображениями, полученными разными сенсорами Landsat, смежных дат съёмки; 3) оценку возможностей корректировки используемых изображений, полученных разными сенсорами.

Методика выполнения работы

Работу выполняли по набору изображений Landsat сенсоров TM/ETM+/OLI близких дат съёмки (разница между сравниваемыми парами — 1 день) (источник: <http://www.glovis.usgs.gov>). Радиометры различались спектральными диапазонами, наиболее сильные различия отмечены между каналами NIR (*англ.* near infrared, ближний инфракрасный) сенсоров TM, ETM+ и OLI (*табл. 1*).

Выбор временного охвата ориентирован на сезон максимального накопления зелёной фитомассы — вторую половину вегетационного периода (19 июля — 26 августа 2009–2020 гг.). Отсутствие возможностей для прямых сопоставлений съёмок сенсоров TM/OLI определяет необходимость сравнения исследуемых величин через значения сенсора ETM+. Полные пары для сравнений (наличие съёмок всех сенсоров на смежные даты) (*табл. 2*) были доступны только на два участка (*рис. 2*, см. с. 94). На прилегающие к ним территории подобраны неполные пары, которые использовали при анализе сезонных изменений.

Таблица 1. Характеристика сравниваемых съёмок

Сенсоры	Спектральные диапазоны, мкм	
	красный (Red)	ближний инфракрасный (NIR)
Landsat-5 TM	0,63–0,69	0,76–0,90
Landsat-7 ETM+	0,63–0,69	0,77–0,90
Landsat-8 OLI	0,64–0,67	0,85–0,88

Таблица 2. Материалы сравниваемых съёмок Landsat TM/ETM+/OLI

	Участок 1	Участок 2
Площадь, S, тыс. га	435,7	134,9
Landsat-5 TM	18.07.2010, 168_12*	24.07.2009, 167_12
Landsat-7 ETM+	19.07.2010, 167_12 26.08.2018, 167_12	25.07.2009, 166_12 23.07.2020, 166_12
Landsat-8 OLI	27.08.2018, 166_12	22.07.2020, 167_12

* — представлены величины path_row.

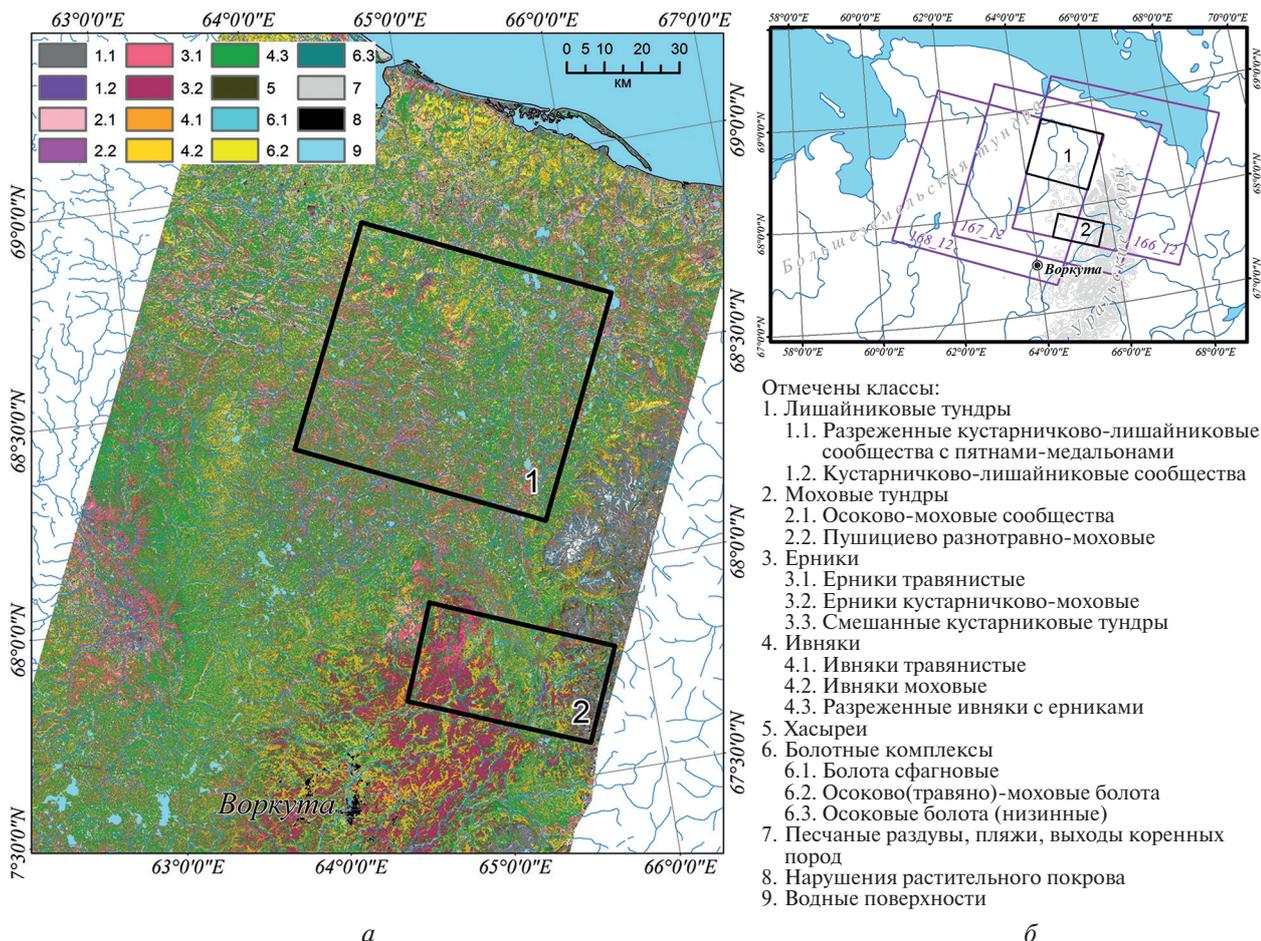


Рис. 2. Расположение модельных участков 1 и 2 для выполнения сравнений на тематической карте растительности (а); контуры перекрытий сцен Landsat (166–168_12) (б)

Для подтверждения отсутствия или наличия межгодовых изменений в растительном покрове (по индексу NDVI) готовили временные ряды эталонных (так как с ними проводится сопоставление других сенсоров) изображений ETM+ для периода сравниваемых лет

(2009–2019) сезона максимального развития растительного покрова (первая декада августа: 01.08.2009, 08.08.2014, 04.08.2016, 13.08.2019, 23.07.2020). В качестве меры **интенсивности и направленности изменений** показателя индекса $NDVI_{MAX}$ за указанные интервалы времени рассчитывали коэффициент линейного тренда, определённый по методу наименьших квадратов и характеризующий среднюю скорость изменений переменной за рассматриваемые периоды наблюдений (β) (средняя интенсивность изменения $NDVI$ в год). Показатель β был дифференцирован в соответствии с работой (Goetz et al., 2005) в градациях значений: высокие отрицательные изменения ($\beta \leq -0,006$), низкие отрицательные изменения ($-0,006 < \beta \leq -0,003$), незначительные изменения ($-0,003 < \beta \leq 0,003$), слабые положительные ($0,003 < \beta \leq 0,006$) и высокие положительные ($0,006 < \beta$) изменения, отмеченные за год.

Все использованные изображения содержали абсолютные безразмерные значения коэффициентов отражения (*англ.* spectral reflectance — SRefl) и были радиометрически и атмосферно скорректированы. Для каждого из снимков готовили маску искажений (пропуски данных для ETM+, тени, облачность, дымка, убрали водные объекты). При перекрытии изображений контуры масок суммировали.

Участки для выполнения сравнений включали растительные сообщества восточной части Большеземельской тундры, ограниченные с востока цепью гор Полярного Урала. Район исследований (северо-восток европейской части России) относится к территории с умеренной пастбищной нагрузкой в сравнении со смежным регионом Ямала, где выпас оленей привёл к катастрофическим трансформациям растительного покрова (Веселкин и др., 2021). Распределение доминирующих классов растительности характеризовали по тематическим картам, ранее полученным в ходе геоботанического обследования оленьих пастбищ сельскохозяйственного производственного кооператива «Красный октябрь» (Наземное..., 2013). В соответствии с геоботаническим подразделением В. Д. Александровой (1977) район работ относится к Урало-Пайхойской подпровинции Восточноевропейской провинции субарктических тундр. В широтном отношении район приурочен к субарктическим тундрам: к средним и северным (Александрова, 1977), северным и мелкоерниковым южным (Грибова, 1980) или типичным тундрам (Матвеева, 1998). На участках доминируют кустарниковые сообщества (до 80–87%), среди них смешанные ивняково-ерниковые сообщества занимают большую часть (на первом участке — 43,5%, на втором — 29,8%). Наибольшие площади ивняков представлены на первом участке (до 55,2%), ерников (до 36,1%) — на втором. Доля сообществ пушицевой и осоково-моховой (осока арктосибирская) тундр, расположенных на водоразделах и плато невысоких холмов и слабодренированных склонов, увеличивается к северу (до 12,4% территории). Площади разреженных кустарничково-лишайниковых сообществ с пятнами-медальонами и мелкоерниковых разнотравно-моховых сообществ, локализованных на вершинах холмов и мусюров, незначительны (до 4,0%). Контуры доминирующих классов растительности были использованы при анализе различий значений спектральных величин при сопоставлении сенсоров.

Сходство спектральных величин для каналов Red, NIR и индекса $NDVI$ на сценах сенсоров TM, ETM+ и OLI (исключали классы, лишённые растительного покрова) рассчитывали относительно сенсора ETM+ с использованием критерия относительной процентной разницы (*англ.* relative percentage difference — RPD) (Huang et al., 2013):

$$RPD = \frac{\rho_i - \rho_{L7ETM+}}{\rho_{L7ETM+}} \times 100\%,$$

где ρ_i и ρ_{L7ETM+} — соответствующие значения для отдельных каналов сравниваемых спутниковых изображений сенсоров i и ETM+.

Результаты и их обсуждение

Анализ изменений индекса $NDVI$ на изображениях ETM+ демонстрирует отсутствие существенных изменений продуктивности растительных сообществ в регионе для периода 2009–

2020 гг. (рис. 3). Большая часть фитоценозов (для всего участка — 65,1 %) не имела значимых изменений. Слабый положительный рост индекса был отмечен только на трети площади участка (28,5 %). Сходная зависимость прослежена для всех отдельных доминирующих на участке классов: травянистых ерников (75,2 и 21,6 %), ивняков (60,8 и 32,9 %) и смешанных кустарниковых сообществ (67,7 и 28,1 %).

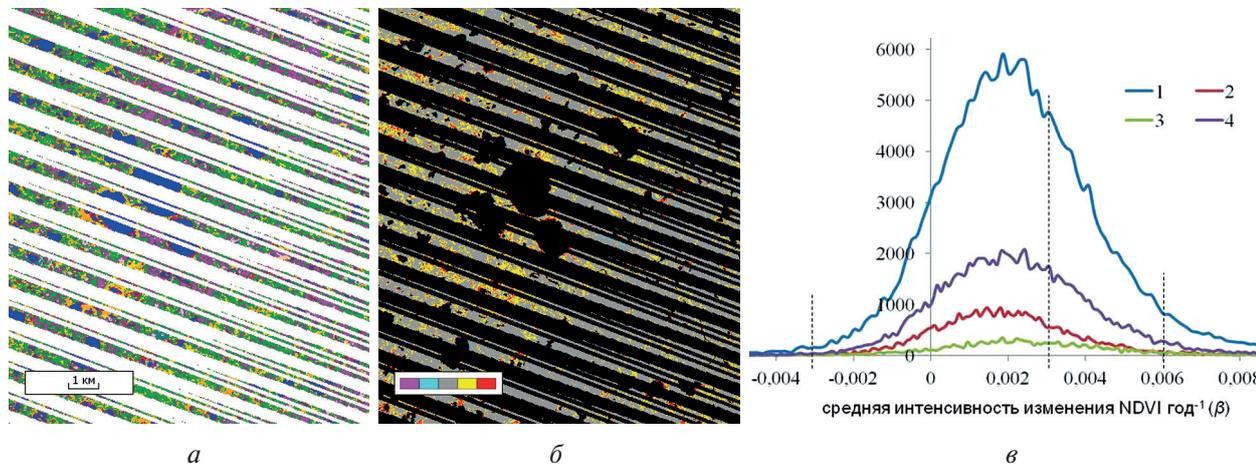


Рис. 3. Фрагмент карты растительного покрова участка 2 с нанесённой маской искажений (а); классы растительности соответствуют рис. 2а. Тренд показателя средней интенсивности изменений NDVI в год (β) по набору снимков ETM+ для 2009–2020 гг.; цветовая градиация соответствует (Goetz et al., 2005) (б). Гистограммы распределения показателя β , ось ординат — количество пикселей в классе (θ); график включает все пиксели модельного участка (исключая водные объекты) (1) и доминирующие фитоценозы: травянистые ерники (2), ивняки (3) и смешанные кустарниковые сообщества (4); диапазоны показателя отмечены пунктиром

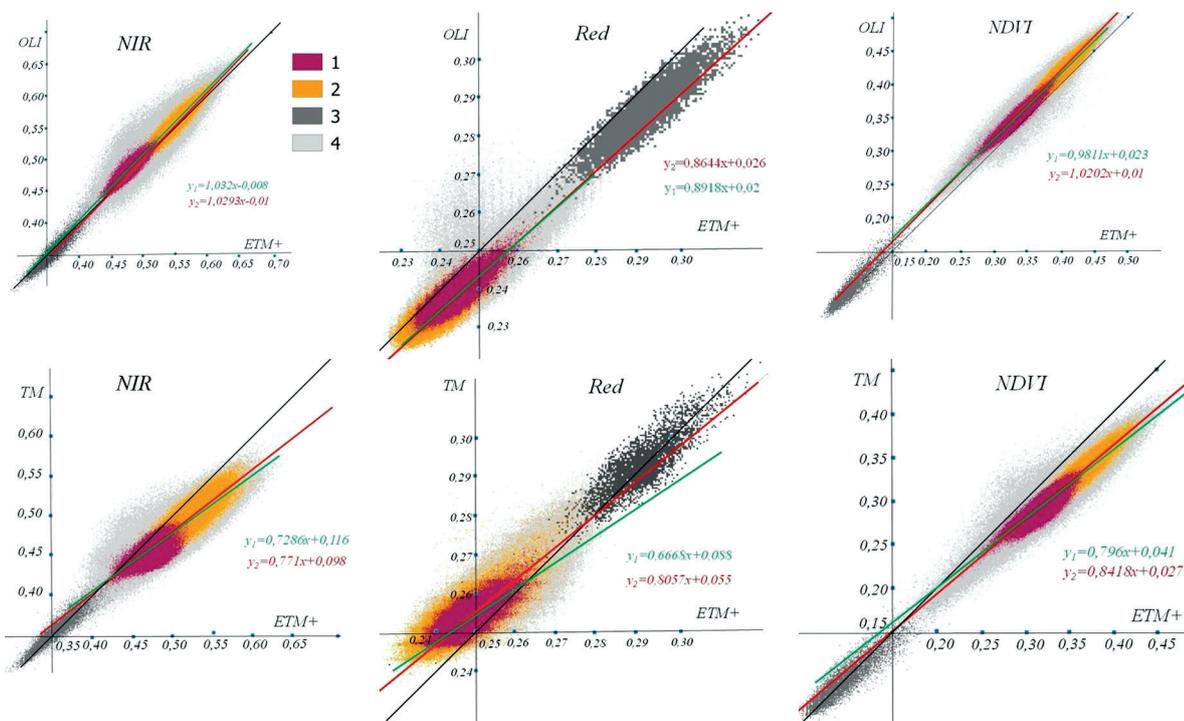


Рис. 4. Значение каналов различных сенсоров для отдельных доминирующих классов растительности по второму участку. Цифрами отмечены сообщества: 1 — ерниковые тундры; 2 — ивняки; 3 — лишайниковые тундры и выходы горных пород; 4 — остальные классы. Отмечены следующие прямые зависимости: диагональная линия ($y = x$) (чёрный цвет); по доминирующим классам кустарниковых тундр (зелёный); по всем классам с исключением водных поверхностей (красный)

Сопоставляемые сенсоры различались расположением облаков рассеивания доминирующих классов растительности (рис. 4). На характер отклонения облаков от диагональной линии ($x = y$) влияли технические особенности сенсоров и состав растительного покрова. Преобладание на территории той или иной группы полярных по характеристикам фитоценозов: ивняков (высокопродуктивных сообществ с высоким запасом зелёной фитомассы) или кустарничково-лишайниковых тундр (низкопродуктивных, с разреженной растительностью или малым запасом) — смешало показатели сходимости, что наиболее выражено для ТМ-сенсоров. В сравниваемой паре сенсоры ТМ и ЕТМ+ имели большее сходство в канале NIR в области меньших значений на участках лишайниковых сообществ (участках выходов коренных пород). Различия усиливались в области высоких значений — более высокий рост показателей по ЕТМ+ для ивняков. В красной зоне сенсора ТМ отмечено завышение величин КСЯ для продуктивных растительных сообществ.

Влияние состава растительных сообществ на показатели сходимости разных сенсоров демонстрируют оси, построенные по величинам облаков рассеивания отдельных классов. Совпадение осей, построенных для полярных по продуктивности классов (совпадение зелёной и красной осей на рис. 4), указывает на отсутствие избирательной чувствительности сенсоров к классам растительного покрова. Для сенсоров OLI и ЕТМ+ можно использовать линейное трансформирование значений при пересчёте данных разных съёмки. Наименьшие различия для растительных сообществ отмечены для пары наиболее различающихся между собой по протяжённости диапазонов NIR сенсоров OLI и ЕТМ+.

Для сенсоров ТМ линейный пересчёт показателей для сравнений имел ограничения, особенно по значениям красного канала: ивняки сильнее увеличивали показатели КСЯ, чем для ЕТМ+. Рост площадей ивняков на изображении может существенно влиять на показатели сходимости, можно предполагать и сезонные изменения показателей сходимости данных пар: наибольшие различия сенсоров будут относиться к съёмкам периода максимального развития зелёной фитомассы.

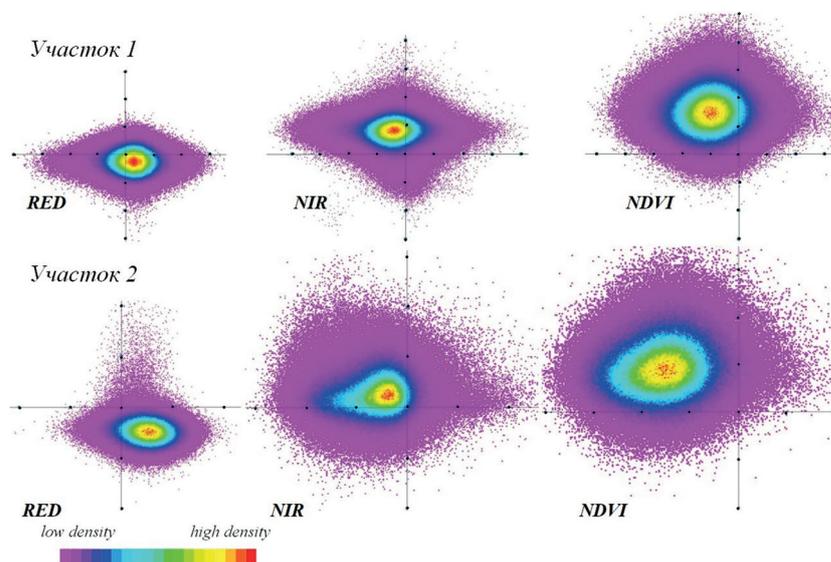


Рис. 5. Сравнение величин относительной процентной разницы (RPD, %) для каналов Red, NIR и индекса NDVI по парам сравнения ТМ–ЕТМ+ (оси абсцисс) и OLI–ЕТМ+ (оси ординат) для участка 1 (18–19 июля 2010 г. и 26–27 августа 2018 г.) и участка 2 (24–25 июля 2010 г. и 22–23 июля 2020 г.). Интервалы для маркеров величин составляют 5 %. Положительные значения — превышения показателей над ЕТМ+, отрицательные — более низкие значения

Сравнение величин относительной процентной разницы (RPD) по двум модельным участкам демонстрирует общие закономерности проявления отклонений КСЯ для разных сенсоров Landsat (рис. 5). Несмотря на различия в датах съёмки (сравниваемая пара

OLI/ETM+ для участка 1 получена по изображению конца вегетационного периода, а для участка 2 — по изображению его середины), общий вектор смещений имеет сходство. В сравниваемой группе сенсоры ETM+ системно занижали показатели в сравнении с TM по каналам Red (1–2 %) и завышали по NIR (2–3 %) и NDVI (5–7 %). Для OLI отмечено завышение показателей в сравнении с ETM+ по NIR (1,5–4 %) и NDVI (4,5–8 %) и занижение по Red (1–2 %). Сходные зависимости между сенсорами ETM+ и OLI были отмечены другими исследователями для тропических лесов юго-восточной Азии: для участков с растительным покровом сенсоры OLI в сравнении с ETM+ имели более высокие значения КСЯ по NIR (Li et al., 2014; Mancino et al., 2020).

Прямого сравнения снимков TM и OLI из-за отсутствия перекрытия в сроках получения снимков выполнить не удаётся. Однако сопоставить различия сенсоров можно через ETM+. Сравнение средних по снимку величин RPD разных сенсоров позволяет установить смещения по сценам. Для количественной оценки использованы значения мод, рассчитанные по показателям всех классов растительного покрова:

- для канала Red: $OLI < ETM+$ (в среднем на 2,3 %); $ETM+ < TM$ (2,6 %) $\Rightarrow OLI \ll TM$ (суммарно на 4,9 %);
- для канала NIR: $OLI > ETM+$ (1,7 %); $ETM+ > TM$ (1,9 %) $\Rightarrow OLI \gg TM$ (суммарно на 3,6 %);
- для NDVI: $OLI > ETM+$ (4,5 %); $ETM+ > TM$ (7,4%) $\Rightarrow OLI \gg TM$ (суммарно на 11,9 %).

Максимальные различия отмечены между сценами OLI и TM, минимальные — между OLI и ETM+. Наименее выраженные различия между сенсорами отмечены для NIR-канала, несмотря на высокие различия диапазонов. Индекс NDVI по OLI завышает величины ETM+ и TM, что системно прослеживается для двух сравниваемых участков. Отметим, что на участке 1 съёмка OLI выполнена в вегетационном сезоне сравниваемых лет с запаздыванием на месяц. Наиболее высокие различия NDVI формируют максимально разнесённые по времени съёмки пары OLI и TM.

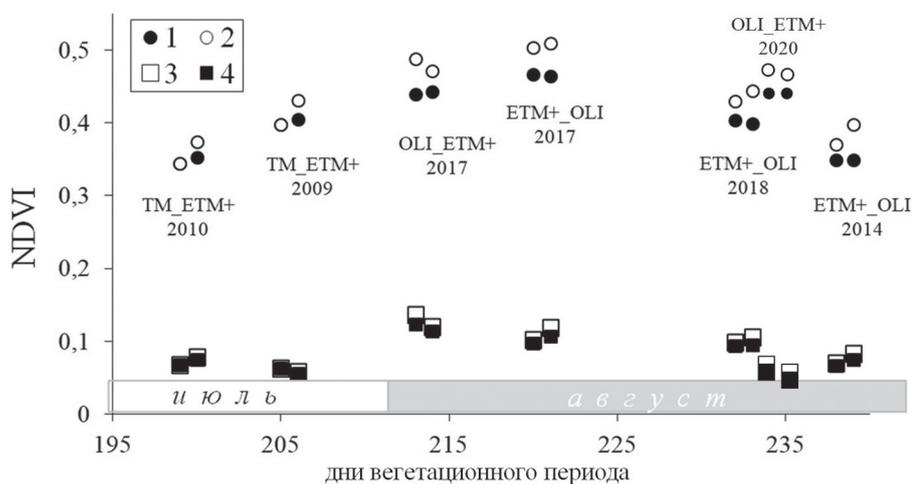


Рис. 6. Сезонные и межгодовые изменения индекса NDVI по разным сенсорам Landsat (TM/ETM+/OLI). Цифрами обозначены средние величины ($n = 10$) для пикселей класса «ивняки травяные» (1 и 2) и лишённые растительного покрова участки (3 и 4), приведённые к TM-значениям сенсоров (1 и 4)

Несмотря на то, что сравниваемые наборы пар сенсоров относятся к разным годам, расположив величины показателя NDVI по датам съёмки, можно установить сезонные изменения фитоценозов (рис. 6). Для наиболее продуктивных сообществ района исследований (ивняки травяные) в большинстве лет максимальные величины индекса NDVI были достигнуты в первой декаде августа. Исключение составил 2020 г., для которого характерны более низкие

температуры июля (к примеру, в 2017 и 2018 гг. наблюдался активный рост температуры в августе с их сохранением до сентября), что привело к запаздыванию достижения максимальных величин фитомассы). Корректировка показателей разных сенсоров на величины отклонений нивелировала различия измерений, выравнивала ход показателей и увеличивала сходимость между значениями.

Заключение

Эволюция сенсоров Landsat (TM/ETM+/OLI) основана на отсутствии резких изменений спектральных диапазонов и пространственного разрешения, что обеспечило возможности для анализа трендов изменений растительного покрова 40-летнего временного интервала. Использование временных серий Landsat стало особо актуальным в связи с закрытием комплексных биоценологических стационаров и утратой долговременных рядов наблюдений. Сходство спектральных диапазонов позволило использовать изображения Landsat разных лет для верификации временных изменений растительного покрова по менее детальным изображениям MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (Елсаков, Щанов, 2019). Различия набора сенсоров, привлекаемых для анализа трендов изменений, количества сравниваемых сцен, присутствие сезонных смещений характеристик растительности на изображениях близких дат съёмок разных лет часто приводят к достижению исследователями полярных результатов. Так, изменения индекса NDVI тундровых фитоценозов о-ва Вайгач за 25-летний период в работах разных авторов (Лавриненко, 2011; Полякова, 2015) демонстрируют разную направленность.

Наиболее низкие различия и возможность линейных преобразований для выполнения сравнений демонстрируют сенсоры OLI и ETM+. Преобразования сенсоров TM зависят от состава сообществ. Смещения спектральных величин полярных по продуктивности классов тундровых сообществ у сенсоров TM Landsat подтверждают необходимость выполнения предварительной подготовки сравниваемых изображений для совместного использования. Различия средних величин для изображений участков востока Большеземельской тундры в 12 % (NDVI по TM и OLI) превысили величины отклонений показателей продуктивности растительного покрова, вызванных межгодовыми особенностями. По данным В.Н. Андреева с коллегами (1978), межгодовые изменения общего запаса надземной фитомассы в сообществах субарктической тундры (на примере Нижнеколымского стационара) не превышают 7–8 % от среднего уровня, что приближается или близко к величинам средних отклонений для сравниваемых пар сенсоров.

Основную долю погрешностей при анализе временных трендов изменений формирует сезонная вариабельность сообществ, смещение сроков которой усиливает межгодовые погодные различия. Семь дней разницы между съёмками в 2017 г. (206-й и 213-й дни) повышали NDVI для класса ивняков на 8 %. Увеличение количества используемых сцен одного года для периода максимумов развития растительности снижает вероятность таких ошибок.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы «Разнообразие растительного мира западного макросклона Приполярного Урала» (AAAA-A19-119011790022-1).

Литература

1. *Александрова В. Д.* Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1977. 189 с.
2. *Андреев В. Н., Галактионова Т. Ф., Говоров П. М., Захарова В. И., Неустроева А. И., Савинов Д. Д., Торговкина Е. Е.* Сезонная и погодная динамика фитомассы в субарктической тундре. Новосибирск: Наука, 1978. С. 50–52.
3. *Веселкин Д. В., Морозова Л. М., Горбунова А. М.* Снижение значений NDVI в южных тундрах Ямала в 2001–2018 гг. коррелирует с численностью домашних северных оленей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 2. С. 143–155. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-143-155.

4. Грибова С. А. Тундры // Растительность европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. С. 29–70.
5. Елсаков В. В., Щанов В. М. Современные изменения растительного покрова пастбищ северного оленя Тиманской тундры по результатам анализа данных спутниковой съёмки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 128–142. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-128-142.
6. Лавриненко И. А. Динамика растительного покрова острова Вайгач под влиянием климатических изменений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. № 1. Т. 8. С. 183–189.
7. Матвеева Н. В. Зональность в растительном покрове Арктики. СПб., 1998. 220 с.
8. Наземное геоботаническое обследование земельных участков, арендуемых пастбищных угодий СПК «Красный Октябрь» для целей северного оленеводства: Отчет по теме договора. Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2013. 24 с.
9. Полякова Е. В. Оценка растительного покрова острова Вайгач по данным дистанционного зондирования земли в условиях изменяющегося климата // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-22. С. 4924–4929.
10. Терехин Э. А. Многолетняя динамика спектрально-отражательных свойств участков лесовосстановления в лесах юга Среднерусской возвышенности // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44. № 2. С. 210–220.
11. Aubard V., Paulo J. A., Silva J. M. N. Long-Term Monitoring of Cork and Holm Oak Stands Productivity in Portugal with Landsat Imagery // Remote Sensing. 2019. No. 11(5). Art. No. 525.
12. Goetz Sc., Bunn A. G., Fiske G. J., Houghton R. A. Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance // Proc. National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS). 2005. V. 102. No. 38. P. 13521–13525.
13. Huang W., Huang J., Wang X., Wang F., Shi J. Comparability of Red/Near-Infrared Reflectance and NDVI Based on the Spectral Response Function between MODIS and 30 Other Satellite Sensors Using Rice Canopy Spectra // Sensors (Basel). 2013. No. 13. V. 12. P. 16023–16050.
14. Li P., Jiang L., Feng Z. Cross-Comparison of Vegetation Indices Derived from Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Sensors // Remote Sensing. 2014. No. 6. V. 1. P. 310–329.
15. Mancino G., Ferrara A., Padula A., Nolè A. Cross-Comparison between Landsat 8 (OLI) and Landsat 7 (ETM+) Derived Vegetation Indices in a Mediterranean Environment // Remote Sensing. 2020. No. 12. V. 2. Art. No. 291.
16. Markham B. L., Barker J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures: EOSAT Landsat Tech. Notes. Lanham, 1986. No. 1. P. 3–8.

Spectral differences in vegetation cover characteristics of tundra communities by Landsat sensors

V. V. Elsakov

*Institute of Biology of Komi Science Centre UrB RAS, Syktyvkar 167982, Russia
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru*

A comparison of the red and near-infrared spectral values and NDVI index of Landsat sensors (TM/ETM+/OLI) obtained on adjacent acquisition dates is performed. The TM and OLI images comparison of which was achieved via ETM+ had different overlapping periods. The imaging interval in the compiled pairs of sensors was 1 day. The image pairs were analyzed over two model areas localized in the eastern part of the shrub-dominated Bolshezemelskaya tundra. Significant changes in the NDVI index were not observed for the time interval considered 2009–2020. Phytocenoses classes with absence (65.1 %) or weak positive (28.5 %) changes prevailed in order of the average rate of NDVI index changes. Spectral brightness values for tundra phytocenoses shown insignificant deviations despite the significant difference in length of NIR bands for OLI (0.85–0.88 microns) and ETM+ (0.77–0.90 microns) sensors. The offsets of spectral values for different sites and survey years using the relative percentage difference (RPD, %) criterion had similar dependencies of the deviations for the vegetation cover classes of the analyzed pairs. Sensors ETM+ compared to TM systematically overestimated NIR (1.9 %) and NDVI (7.4 %) and underestimated RED (2.6 %). A slight overestimation for

the OLI radiometer compared to the ETM+ for the NIR channel (1.7 %) and NDVI (4.5 %) and an underestimation for RED (2.3 %) was noted. The maximum differences in the NDVI index (averaging up to 11.9 % for a pair of images) were observed for the most time-dispersed OLI and TM sensor surveys. This has demonstrated a possible source of error in interannual comparisons, the measurement error could numerically exceed the variability of vegetation productivity indices caused by interannual weather patterns.

Keywords: tundra vegetation communities, comparison of Landsat, TM, ETM+ and OLI sensors, seasonal and inter-annual vegetation changes

Accepted: 21.06.2021

DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-92-101

References

1. Aleksandrova V. D., *Geobotanicheskoe raionirovanie Arktiki i Antarktiki* (Geobotanical zoning of the Arctic and Antarctic), Leningrad: Nauka, 1977, 189 p. (in Russian).
2. Andreev V. N., Galaktionova T. F., Govorov P. M., *Sezonnaya i pogodovaya dinamika fitomassy v subarkticheskoj tundre* (Seasonal and annual phytomass dynamic in the subarctic tundra), Novosibirsk: Nauka, 1978, pp. 50–52 (in Russian).
3. Veselkin D. V., Morozova L. M., Gorbunova A. M., Decrease of NDVI values in the southern tundra of Yamal in 2001–2018 correlates with the size of domesticated reindeer population, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 2, pp. 143–155 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-143-155.
4. Gribova S. A., Tundra, In: *Rastitel'nost' evropeiskoi chasti SSSR* (Vegetation of the European part of the USSR), Leningrad: Nauka, 1980, pp. 29–70 (in Russian).
5. Elsakov V. V., Shchanov V. M., Current changes in vegetation cover of Timan tundra reindeer pastures from analysis of satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 2, pp. 128–142 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-128-142.
6. Lavrinenko I. A., Vegetation dynamics of the Vaigach island under climate change impact, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 183–189 (in Russian).
7. Matveeva N. V., *Zonal'nost' v rastitel'nom pokrove Arktiki* (Zonality in Arctic vegetation cover), Saint Petersburg, 1998, 220 p. (in Russian).
8. *Nazemnoe geobotanicheskoe obsledovanie zemel'nykh uchastkov, arenduemyykh pastbishchnyykh ugodii SPK "Krasnyi Oktyabr'" dlya tselei severnogo olenevodstva* (The ground geobotanical survey of reindeer farm land by SPK "Krasnyi Oktyabr'" for reindeer herding purposes), Contract report, 2013, 24 p. (in Russian).
9. Polyakova E. V., Estimation of the vegetation cover for Vaigach isl. and by remote sensing data in a changing climate, *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, No. 2-22, pp. 4924–4929 (in Russian).
10. Terekhin E. A., Spectral response dynamics of the reforestation sites in forests of the south of Central Russian Upland, *Regional'nye geosistemy*, 2020, Vol. 44, No. 2, pp. 210–220 (in Russian).
11. Aubard V., Paulo J. A., Silva J. M. N., Long-Term Monitoring of Cork and Holm Oak Stands Productivity in Portugal with Landsat Imagery, *Remote Sensing*, 2019, No. 11, Art. No. 525.
12. Goetz Sc., Bunn A. G., Fiske G. J., Houghton R. A., Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance, *Proc. National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 2005, Vol. 102, No. 38, pp. 13521–13525.
13. Huang W., Huang J., Wang X., Wang F., Shi J., Comparability of Red/Near-Infrared Reflectance and NDVI Based on the Spectral Response Function between MODIS and 30 Other Satellite Sensors Using Rice Canopy Spectra, *Sensors (Basel)*, 2013, Vol. 12, No. 13, pp. 16023–16050.
14. Li P., Jiang L., Feng Z., Cross-Comparison of Vegetation Indices Derived from Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) Sensors, *Remote Sensing*, 2014, Vol. 1, No. 6, pp. 310–329.
15. Mancino G., Ferrara A., Padula A., Nolè A., Cross-Comparison between Landsat 8 (OLI) and Landsat 7 (ETM+) Derived Vegetation Indices in a Mediterranean Environment, *Remote Sensing*, 2020, Vol. 2, No. 12, Art. No. 291.
16. Markham B. L., Barker J. L., Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures, *EOSAT Landsat Tech. Notes*, Lanham, 1986, No. 1, pp. 3–8.