

Оригинальная статья / Original article
УДК 528.942
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-126-136

Использование индексных изображений при дешифрировании растительного покрова Внутригорного Дагестана

Раисат Т. Раджабова¹, Наталья А. Алексеенко^{2,3}, Башир М. Курамагомедов³,
Загра Ш. Тажудинова⁴, Залимхан М. Султанов¹

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия,

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Институт географии Российской Академии Наук, Москва, Россия

⁴Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Раисат Т. Раджабова, кандидат биологических наук, доцент кафедры рекреационной географии и устойчивого развития Дагестанский государственный университет; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.
Тел. +79887846760
Email raisatr@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>

Формат цитирования

Раджабова Р.Т., Алексеенко Н.А., Курамагомедов Б.М., Тажудинова З.Ш., Султанов З.М. Использование индексных изображений при дешифрировании растительного покрова Внутригорного Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 126-136. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-126-136

Получена 22 июня 2020 г.

Прошла рецензирование 14 июля 2020 г.

Принята 5 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Подбор и анализ индексных изображений, пригодных для дешифрирования растительного покрова в условиях Внутригорного Дагестана.

Методы. Исследование проведено на базе разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения, полученных съемочной системой спутника серии Sentinel-2, с применением методов цифровой обработки геоизображений. Обработка осуществлена с использованием возможностей геосервиса Google Earth Engine.

Результаты. Получены разновременные индексные изображения для территории Внутригорного Дагестана. Проанализированы временные ряды сезонных изменений индексов (NDVI, SAVI, EVI), что позволило выявить фенологические закономерности растительности и на основе этого картографировать растительный покров. Для данной территории созданы схемы дешифрирования растительности, по которым выделены участки: лишенные растительности, травянистая растительность разной степени густоты, древесная (лиственная и хвойная).

Заключение. При изучении растительного покрова по индексным изображениям в разных природных условиях необходимо учитывать природные особенности территории, а также использовать дополнительные источники пространственной информации, включая методы полевых исследований.

Ключевые слова

Космические снимки, индексные изображения, вегетационный индекс, Google Earth Engine, Внутригорный Дагестан, SAVI, NDVI, EVI.

The use of index images for decoding the vegetation cover of inner mountain Dagestan, Russia

Raisat T. Radzhabova¹, Natalia A. Alekseenko^{2,3}, Bashir M. Kuramagomedov³,
Zagra Sh. Tazhudinova⁴ and Zelimkhan M. Sultanov¹

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia,

²M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Raisat T. Radzhabova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Recreational Geography and Sustainable Development, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367001. Tel. +79887846760

Email raisatr@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>

How to cite this article

Radzhabova R.T., Alekseenko N.A., Kuramagomedov B.M., Tazhudinova Z.Sh., Sultanov Z.M. The use of index images for decoding the vegetation cover of inner mountain Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 126-136. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-126-136

Received 22 June 2020

Revised 14 July 2020

Accepted 5 September 2020

Abstract

Aim. Selection and analysis of index images suitable for deciphering the vegetation cover in the conditions of inner mountain Dagestan.

Methods. The study was carried out on the basis of multi-temporal satellite images of high spatial resolution, obtained by the imaging system of the Sentinel-2 series satellite, using methods of digital processing of geoimages. Processing was carried out using the capabilities of the Google Earth Engine geoservice.

Results. Multi-temporal index images were obtained for the territory of inner mountain Dagestan. The time series of seasonal changes in the indices (NDVI, SAVI, EVI) were analyzed, making it possible to reveal the phenological patterns of vegetation and to map the vegetation cover on this basis. Schemes for decoding vegetation have been created by which areas are distinguished according to the following characteristics: devoid of vegetation, herbaceous vegetation of varying degrees of density or woody (deciduous and coniferous).

Conclusion. When studying vegetation cover using index images in a range of natural conditions, it is necessary to take into account the natural features of the territory, as well using additional sources of spatial information including field research methods.

Key Words

Space images, index images, vegetation index, Google Earth Engine, inner mountain Dagestan, SAVI, NDVI, EVI.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях изменения климата растительный покров является одним из важных индикаторов, который позволяет определять тенденции этих изменений. При изучении растительности критически важно различать участки с растительностью и без нее. Это поможет в мониторинге и управлении территориями, поскольку, как сообщается, в последние годы потеря и деградация растительного покрова происходит значительными темпами. Инструментом, позволяющим произвести исследования растительного покрова являются многовременные ряды космических снимков. В связи с чем актуальными становятся проведение исследований динамики и изменений растительного покрова на базе компьютерной обработки космических снимков.

При изучении и картографировании растительного покрова космические снимки стали применяться, начиная с 70-х г. прошлого века. В этот же период, помимо самих снимков для визуального дешифрирования, начали использовать математические операции (сложение, вычитание и т.д.) над различными спектральными каналами. В результате чего получается новый тип изображений – индексные изображения, несущие информацию о новых свойствах объектов незаметных впрямую на снимках.

В зависимости от особенностей съемочного сенсора и решаемых задач разработано большое количество индексов. Для оценки фитомассы, продуктивности, динамики и состояния растительного покрова используют вегетационный индекс и его различные модификации. В базе индексов [1] приведены свыше 250 разновидностей вегетационного индекса. Ввиду простоты вычисления наиболее используемым является нормализованный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI). Этот индекс хорошо себя проявил при исследованиях регионального или глобального уровней [2; 3].

Анализ временных рядов сезонных данных NDVI позволил оценить фитомассу для различных типов биомов, выполнить мониторинг фенологических закономерностей растительного покрова Земли и оценить продолжительность вегетационного периода и периодов засухи [4].

Однако, считается, что его использование неоправданно при выполнении исследований более детального уровня и в определенных природных условиях. Многочисленные исследования подтвердили, что продукты NDVI могут быть нестабильными в зависимости от цвета почв, влажности, атмосферных условий и т.д. Так, для пустынных, полупустынных и иных районов с разреженным растительным покровом, в нормализованный вегетационный индекс необходимо внести поправку за почвенно-грунтовые условия [4; 5].

В свою очередь, несмотря на то, что вегетационные индексы, скорректированные на почвенно-грунтовые условия должны показать лучшие результаты, чем не скорректированные индексы, результаты некоторых исследований для территорий с дефицитом влаги не дали ожидаемого результата [5].

Изучение состояния растительного покрова, его динамики и пространственного распределения различных экологических групп, а также геоботаническое кар-

тографирование опираются на вегетационные индексные изображения, во многом подбираемые эмпирическим путем.

Целью данной работы ставилась проверка применимости скорректированных и не скорректированных вегетационных индексов для оценки состояния, и картографирования растительного покрова в условиях Внутригорного Дагестана.

Внутригорный Дагестан представляет собой орографически замкнутую область со сложным рельефом и неоднородным климатом. Это обуславливает формирование разнообразного почвенно-растительного покрова. Характерными типами ландшафтов выступают горно-ксерофитные, горно-степные и горно-луговые. Общий орографический рисунок достаточно сложный и образован хаотическим нагромождением хребтов, платообразных возвышенностей и глубоких долин. Как отмечается в работах [6; 7] особенностью данной территории является наличие ксерофитных котловин с острым дефицитом влаги и высокими показателями температуры. Для более высоких участков характерно увеличение количества осадков, уменьшение континентальности климата. Указанные условия, в сочетании с активными склоново-оползновыми и эрозионными процессами, находят отражение в пространственной структуре растительного покрова.

Оптические свойства ландшафтов передаются на космических снимках через цветопередачу: преобладание оранжево-коричневых оттенков во Внутригорном Дагестане (рис. 1) обусловлено наличием скудного растительного покрова или его отсутствием.

В качестве модельного участка при получении и анализе индексных изображений выбрано междуречье Андийского Койсу и Каракойсу.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами для проведения исследования послужили разновременные многозональные снимки, полученные со спутника Sentinel-2. Данный спутник оснащен съемочной камерой MultiSpectral Instrument (MSI), который измеряет отраженное излучение Земли в 13 спектральных диапазонах от оптического до дальнего инфракрасного. Спектральные каналы имеют разное пространственное разрешение: голубой, зеленый, красный, ближний инфракрасный – 10 м/пиксел; дальний инфракрасный – 60 м; остальные каналы – 20 м. Снимки Sentinel-2 представляются в двух вариантах обработки (рис. 2). Уровень обработки L1C – «сырые значения», обеспечивает максимальную отражательную способность без учета влияния атмосферы. При этом проведена геометрическая коррекция сцен. Этот уровень обработки применим при обработке и анализе одиночных снимков, без сравнительного анализа со снимками за разные даты (сезоны) или разных съемочных систем. При необходимости сравнения снимков «сырые значения» яркости пиксела переводятся в значение излучения на сенсоре. Продукты уровня обработки L2A проходят атмосферную коррекцию, учитывая параметры съемочной системы и солнечного излучения в момент съемки [4]. Данные этого уровня обработки использованы для выполнения нашей работы.



Рисунок 1. Схема Внутригорного Дагестана
Figure 1. Region of inner mountain Dagestan



Рисунок 2. Фрагмент снимка: слева – до атмосферной коррекции, справа – после атмосферной коррекции
Figure 2. Section of an image: left – before atmospheric correction, right – after atmospheric correction

В архивах Sentinel-2 произведен поиск снимков на интересующую область за 2017-2019 гг. Всего выявлено наличие 521 сцен, на которые полностью или частично попадает область исследования. Из найденного массива отобраны сцены, на которых облачное покрытие менее 15%. Снимков, соответствующих данному условию – 213. Всего спектральных каналов, подлежащих обработке около 1000, что требует значительных вычислительных мощностей.

Отбор, оценка пригодности и обработка выбранных сцен произведены на облачной платформе Google Earth Engine (GEE). Выбор облачного геосервиса GEE обусловлен необходимостью сокращения времени обработки большого массива данных и возможностью автоматизации одинаковых задач, с помощью скриптов на языках JavaScript или Python [8].

На GEE поэтапно выполнены процедуры коррекции и синтеза каналов в истинных и псевдоцветах. Далее по снимкам без облачного покрова вычислены индексы, визуализированные в виде индексных изображений: нормализованный вегетационный индекс (NDVI), почвенный вегетационный индекс (Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI), усовершенствованный индекс растительности (Enhanced vegetation index, EVI), индекс голой почвы (Barren Soil, BS). Они учитывают влияние таких факторов, как содержание хлорофилла, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структура растительного покрова [1].

Определение индексов производилось на основе принятых математических формул, эмпирически подбирая, в некоторых случаях, коэффициенты:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} (1 + L)$$

$$EVI = G \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 RED - C2 BLUE) + L}$$

$$BS = \frac{G (SWIR + RED) - (NIR + BLUE)}{(SWIR + RED) + (NIR + BLUE)}$$

Согласно приведенным формулам, для получения индексов использовались следующие спектральные каналы съёмочной системы спутника Sentinel-2: ближний инфракрасный – NIR, красный – RED, голубой – BLUE, средний инфракрасный – SWIR. Основные каналы для изучения растительного покрова – красный и ближний инфракрасный. Использование других каналов позволяет корректировать фоновое отражение почвы и воздействие атмосферы.

Выделены четыре характерных участка: с лиственными деревьями, хвойными деревьями, травяной растительностью и открытыми почвами, для которых произведен расчет среднемесячных показателей индексов.

Анализ полученных значений индексов и индексных изображений, произведён путем визуального сопоставления результатов со снимками в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

В качестве вспомогательной информации о растительном покрове использовались полевые описания, приведенные в литературе [6], картографические материалы [7] и высокдетальные космические снимки, размещенные в открытом доступе [9].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первый участок расположен вблизи с. Чирката (рис. 3.1) в пределах долинно-котловинных ландшафтов со щебнистыми каштановыми почвами, ксерофитными травяными и кустарниковыми ассоциациями. Растительный покров ксерофитных котловин в целом сильно разреженный, что можно заметить на высокдетальных космических снимках.

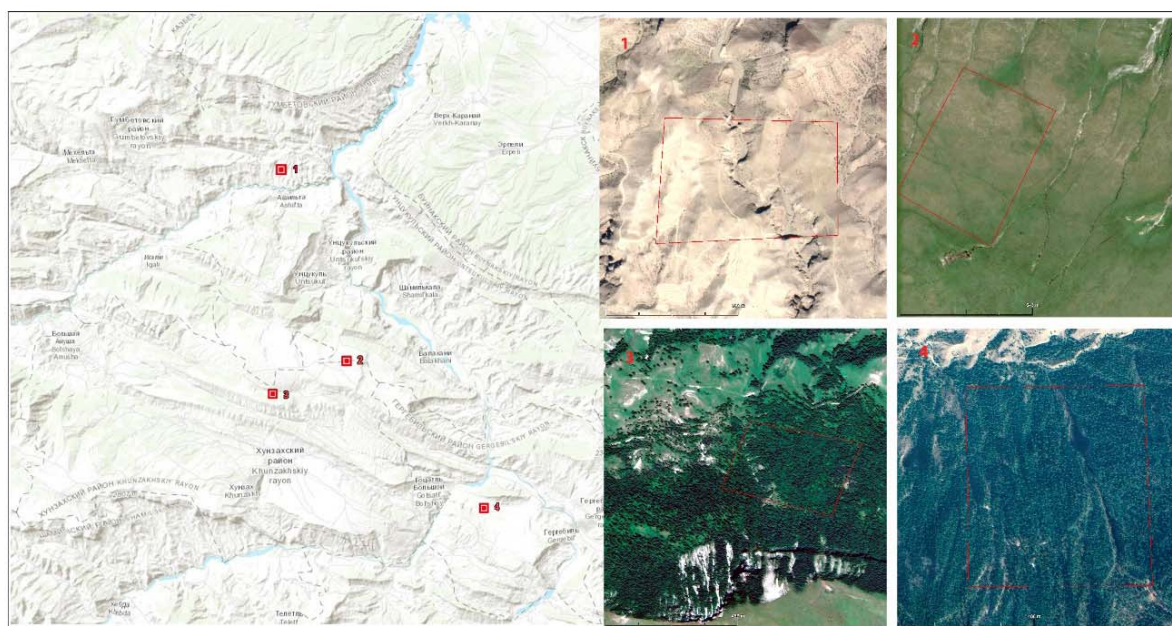


Рисунок 3. Эталонные участки расчёта вегетационных индексов

Figure 3. Reference areas for calculating vegetation indices

Для данного участка характерен неравномерный ход и низкие показатели всех трех индексов, приведённый на рис. 4. В период активной вегетации с апреля по август максимальное значение NDVI не превышает показателя 0.4, а в осенне-зимний период не опускается ниже 0.1. Это соответствует сильно разреженной растительности.

Индексы EVI и SAVI для данного участка показывают очень близкие или практически одинаковые значения. В отличие от NDVI эти индексы в осенне-зимний период колеблются от 0.01 до 0.05, что характерно для открытых почв.

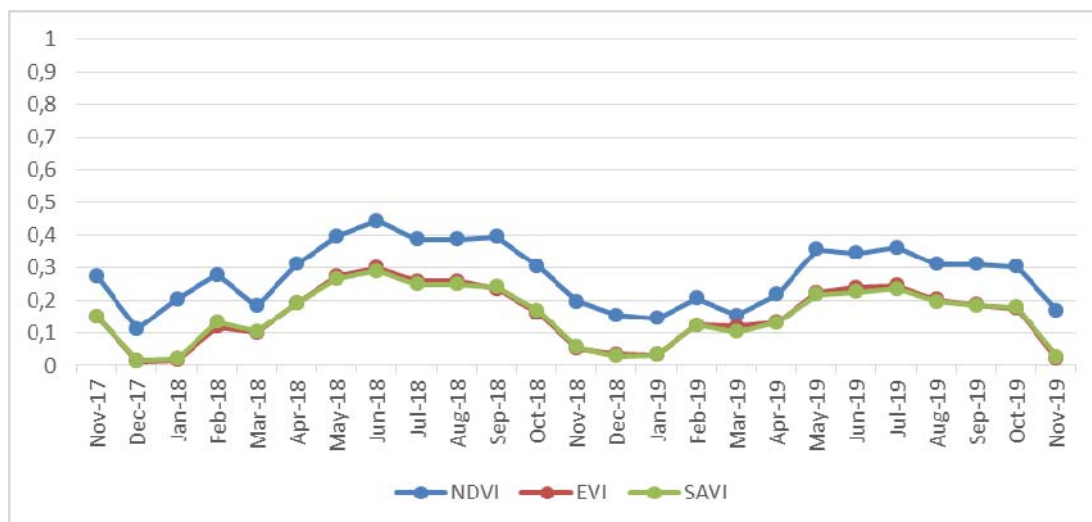


Рисунок 4. График хода вегетационных индексов для участков с сильно разреженной растительностью

Figure 4. Timeline of vegetation indices for areas with very sparse vegetation

Второй эталонный участок расположен на плато Арак-мезр (рис. 3.2). Это характерный участок среднегорных ландшафтов с разнотравно-злаковыми ассоциациями на каштановых и черноземных горных почвах. Данная территория используется в виде сельскохозяйственных угодий под пашни и пастбища.

Хорошо описывают графики всех трех индексов фенологическое состояние разнотравно-злаковых ассоциаций. График вегетационного индекса, на рис. 5,

показывает характерные для вегетирующей растительности значения индексов в летние периоды (больше 0.5) и низкие значения (0.2-0.3) в зимний. Несильно отличаются между собой ход индексов EVI и SAVI, максимумы и минимумы которых достигаются в те же периоды, что NDVI. Отличие значений, как и в предыдущем примере, между максимальными значениями всех индексов относительно небольшое – 0.2 единицы.

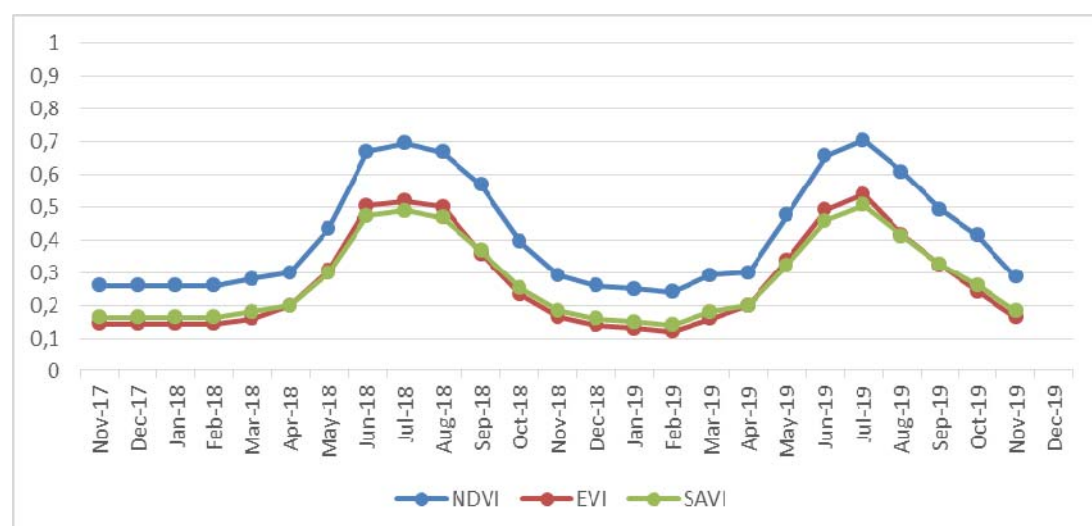


Рисунок 5. График хода вегетационных индексов для участков с травянистой растительностью

Figure 5. Timeline of vegetation indices for areas with herbaceous vegetation

Лесной участок с лиственными породами деревьев, расположен к северо-западу от с. Буцра (рис. 3.3). Этот участок относится к среднегорным ландшафтам с черноземными и луговыми почвами, низко-осоково-злаково-разнотравными ассоциациями. Такие участки,

с небольшими лесными массивами, расположены на северных склонах хребтов исследуемой территории.

Ход индексов для лиственных лесов, вычисленный по одним и тем же снимкам, не равномерен, что заметно по рис. 6. Показатели NDVI начиная с апреля

весь летний период держатся на уровне 0.8, что характерно для обильной вегетирующей растительности с плотным покрытием. Осенью и зимой эти показатели находятся в пределах 0.5, хотя должны быть намного ниже. В декабре 2018 г. среднее значение NDVI возрастает с 0.6 до 0.7, что должно свидетельствовать о начале вегетации. Это дефект, скорее всего, возник за счет

дымки и облачности на снимках. Однако этот пик не просматривается на графиках EVI и SAVI. Кроме того, в отличие от двух предыдущих участков, здесь просматривается сильный разброс значений в одни и те же периоды между NDVI и индексами с поправками.

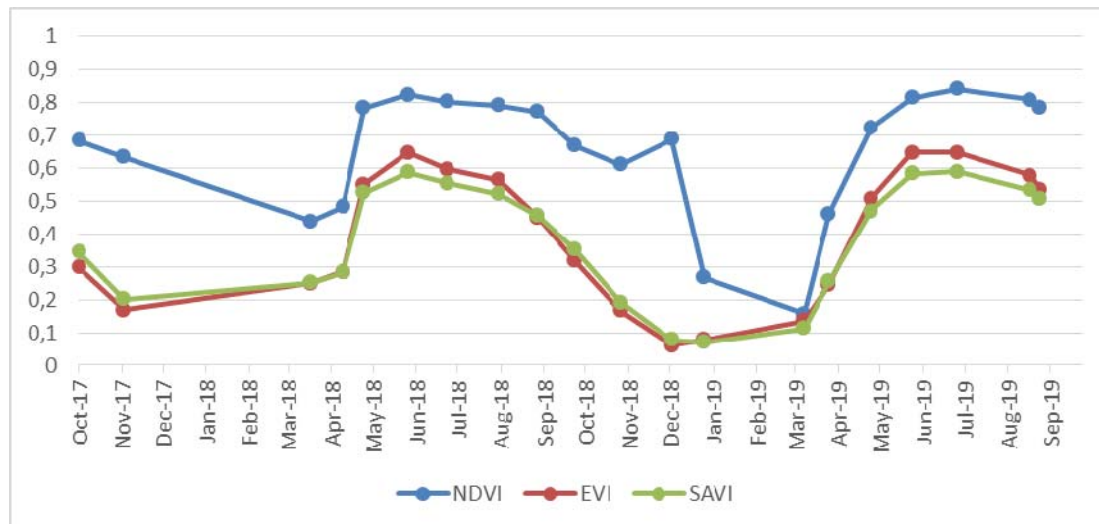


Рисунок 6. График хода вегетационных индексов для участков с лиственными породами

Figure 6. Timeline of vegetation indices for areas with deciduous species

Индексы EVI и SAVI для данного типа растительности показывают закономерный и более соответствующий временам года ход вегетации.

Участок с хвойной растительностью расположен на северном склоне г. Ипутамеэр. В ландшафтном районировании данный участок относится к среднегорным ландшафтам с разнотравно-злаковыми ассоциациями на каштановых и черноземных горных почвах.

Графики индексов на рис. 7, для данного участка, показали ожидаемый результат – практически равномерный ход значений. Однако такой равномерный вид присущ для индексов с поправками. Их значение держится на уровне 0.25-0.3. NDVI имеет неравномерный ход и имеет разброс средних значений в 0.2 единиц.

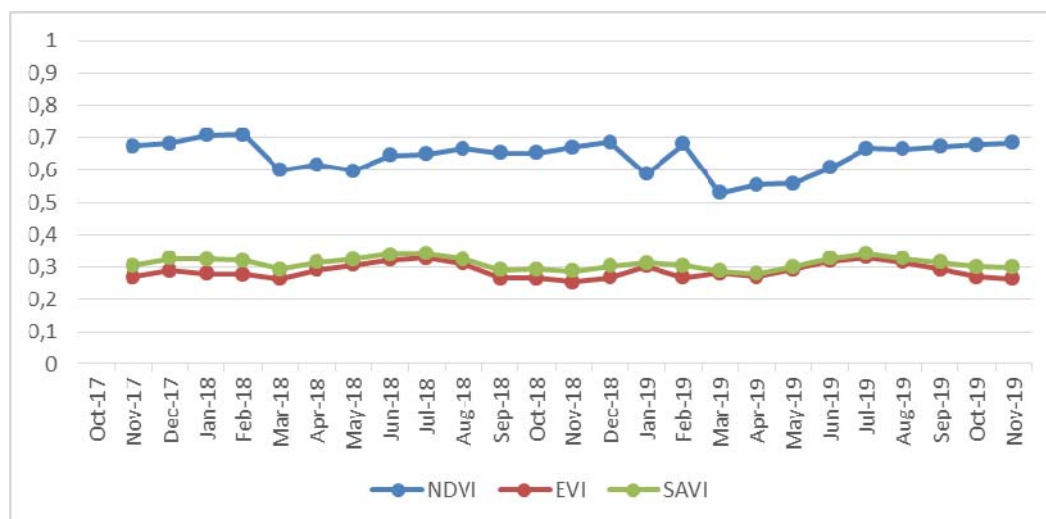


Рисунок 7. График хода вегетационных индексов для участков с хвойными породами

Figure 7. Timeline of vegetation indices for areas with coniferous species

В сравнении со значениями индексов EVI и SAVI показатели NDVI намного превышают, как и в предыдущем примере.

Приведенные выше графики в целом, показали ожидаемые результаты хода вегетационных индексов:

высокие значения в летние периоды и низкие в осенне-зимние. Кроме того, следует учитывать, что каждый пример имеет свои особенности и выбросы, обусловленные специфическими условиями участка. Несмотря

на близость значений SAVI и EVI, более всего эти выбросы сглажены для EVI.

Для хвойных деревьев индексы должны иметь небольшой разброс значений и постоянный ход, что подтверждается индексами SAVI и EVI, в отличие от NDVI.

Рассчитанные на конкретные даты индексные изображения, позволили произвести анализ пространственного распределения индексов и выделить участки со скудным растительным покровом (рис. 8, 9).

Снимок, представленный на рис. 8, получен во время вегетации большинства видов растительности 01.06.2019 г. Визуальное дешифрирование, выполняемое по снимкам в комбинации «истинные» (R-G-B) и «ложные» (NIR-R-G) цвета, значительно затруднено.

Разграничение территории с разной степенью плотности растительного покрова по ним практически невозможно.

Индекс открытой почвы позволил разграничить участки с редким растительным покровом (на рис. 8с, выделен оттенками красного цвета). Так выделились участки, расположенные в долинах рек, соответствующие, согласно ландшафтной карте, двум типам ландшафтов: горным степным и горным ксерофитным. Пространственная структура этого индекса показывает, что схожие свойства имеют и обширные участки восточнее Чиркейского водохранилища, отнесенные ранее к лесостепному типу растительности.

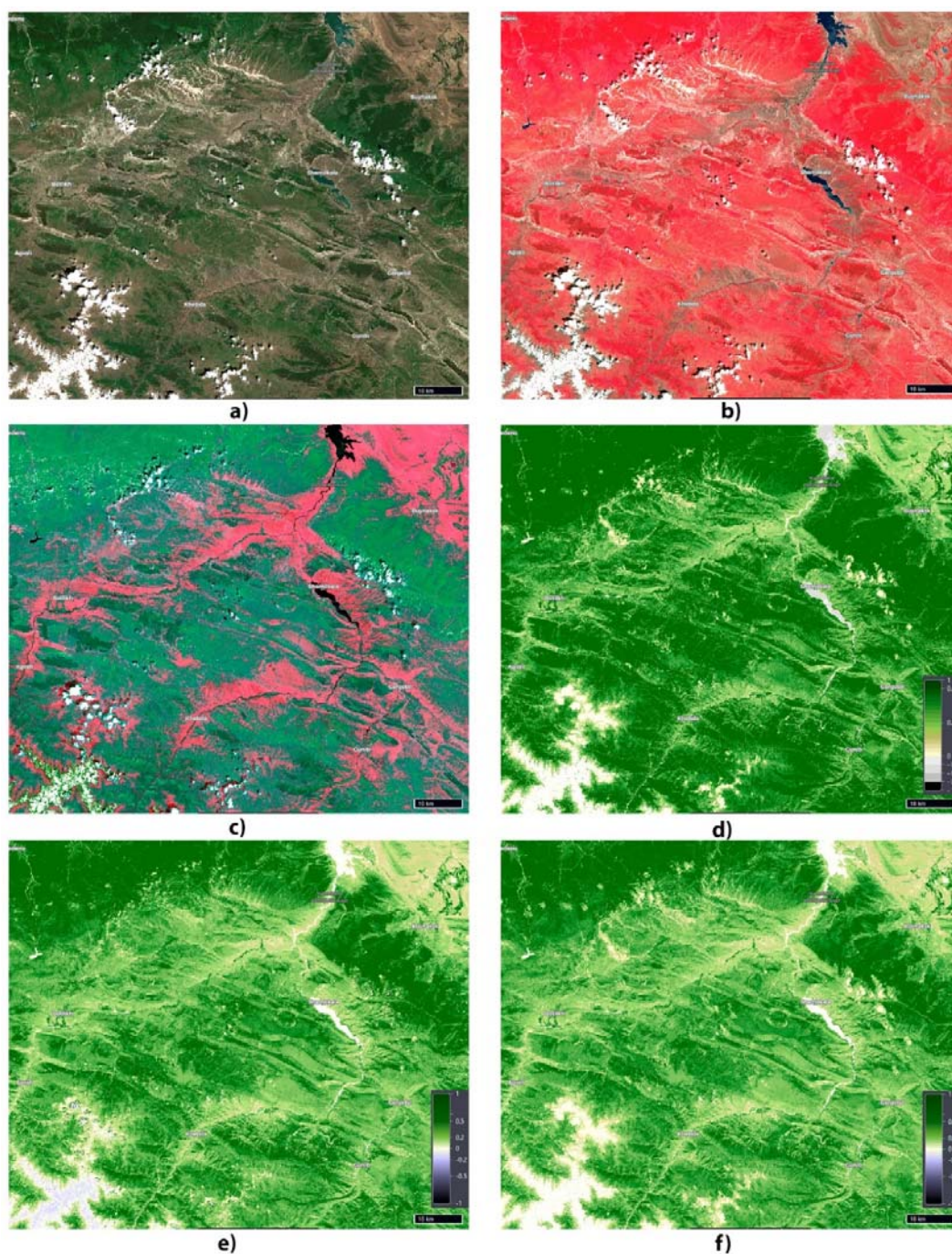


Рисунок 8. Индексные изображения на 01.06.2019 г.: а) снимок R-G-B; б) снимок NIR-R-G; в) BS; д) NDVI; е) SAVI; ф) EVI
Figure 8. Index images of 01.06.2019: а) R-G-B image; б) NIR-R-G image; в) BS; д) NDVI; е) SAVI; ф) EVI

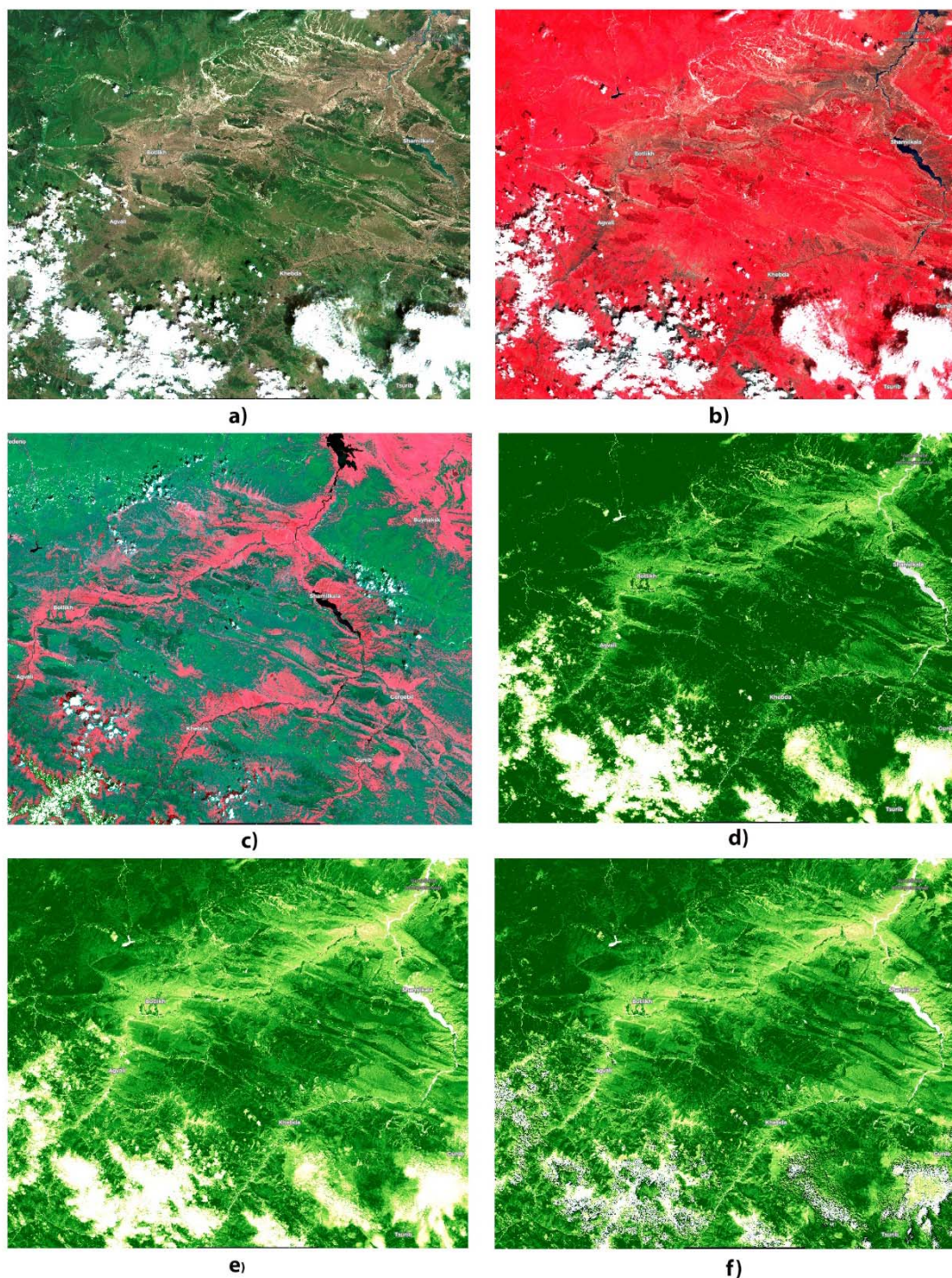


Рисунок 9. Индексные изображения на 31.07.2019 г.: а) снимок R-G-B; б) снимок NIR-R-G в) BS; д) NDVI; е) SAVI; ф) EVI
Figure 9. Index images of 31.07. 2019: a) R-G-B image; b) NIR-R-G image c) BS; d) NDVI; e) SAVI; f) EVI

Разностный вегетационный индекс (NDVI) показывает, что растительность находится в стадии вегетации. Для травянисто-злаковых ассоциаций и древесной растительности значение NDVI выше 0.6, что не позволяет разграничить их между собой в этот период. Для долины характерны сочетание участков с NDVI от 0.01 до 0.2, соответствующие открытым почвам и разреженной растительности. В целом, изображение NDVI характеризуется завышенными значениями.

Индексные изображения EVI и SAVI имеют небольшие отличия. Оба изображения позволяют разде-

лить древесную и травянистую растительность. Однако участки, лишенные растительности или с разреженной растительностью, лучше выделяются на изображении EVI.

На снимке, полученном 31.07.2019 г. (рис. 9), в период, когда средние значения индексов для растительности на разных стадиях вегетации сильнее различаются, можно заметить, что NDVI повсеместно достиг высоких значений. На данную дату, показатель NDVI в ксерофитных долинах достиг значения 0.6, что характерно для сомкнутого растительного покрова. Более

низкие значения, присущие для открытых почв и разряженной растительности, характерны изображениям EVI/SAVI.

Другие типы растительности различимы между собой на индексных изображениях с поправками. На изображениях NDVI луговая и древесная растительность имеют одинаково высокие показатели индекса, что не позволяет их отделить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение растительного покрова Внутригорного Дагестана и его окрестностей по индексным изображениям подтверждает, что в аридных условиях необходимо использовать вместо стандартного вегетационного индекса индексы с поправками за условия среды. Таких индексов разработано достаточно большое количество, что при сопоставлении и комплексном анализе могут дать важные результаты о ходе явлений и процессов в окружающей среде. К примеру, при сопоставлении индексных изображений содержания воды и вегетации растительного покрова можно выявить биоморфы растений.

Результаты дешифрирования космических снимков, несмотря на то, что находят широкое применение в эколого-географических работах, предполагают их полевую верификацию. Дальнейшее проведение полевых работ по наземному спектрометрированию участков и их геоботаническому описанию на Хунзахском плато позволит создать библиотеку образов природных объектов в условиях Внутригорного Дагестана и произвести автоматизированное дешифрирование методами машинного (компьютерного) обучения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках темы ГЗ ИГ РАН № АААА-А19-119022190168-8

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the theme of GS IG RAS No. АААА-А19-119022190168-8

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Henrich V. et al. Entwicklung einer Datenbank für Fernerkundungs indizes // Bochum: AK Fernerkundung. 2012. V. 15. Disponible em: <https://www.indexdatabase.de/>.Acessoem>
2. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
3. Братков В.В., Атаев З.В. Вегетационные индексы и их использование для картографирования горных ландшафтов Российского Кавказа // *APRIORI. Серия: Естественные и технические науки*. 2017. N 1. С. 3-23. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28376010_77664468.pdf (дата обращения 24.04.2020)
4. Spadoni G.L., Cavalli A., Congedo L., Munafò M. Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2020. V. 20. DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100419

5. Ren H., Zhou G., Zhang F. Using negative soil adjustment factor in soil-adjusted vegetation index (SAVI) for above-ground living biomass estimation in arid grasslands // *Remote Sensing of Environment*. 2018. V. 209. P. 439-445. DOI: 10.1016/j.rse.2018.02.068
6. Лепехина А.А. Флора и растительность Дагестана. Ботанические факторы ноосферы. Махачкала: Полиграф-экспресс, 2002. 350 с.
7. Чиликина Л.Н. Карта растительности Дагестанской АССР. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1962.
8. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // *Remote sensing of Environment*. 2017. V. 202. P. 18-27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031
9. Малышева Н.В. Дешифрирование древесной растительности на сверхдетальных изображениях: методическое пособие для подготовки специалистов высшего профессионального образования. Зарегистрировано ФГУП НТЦ Информрегистр. Регистрационное свидетельство N 35711. Москва, 2014. 40 с.

REFERENCES

1. Henrich V. et al. Entwicklung einer Datenbank für Fernerkundungs indizes // Bochum: AK Fernerkundung. 2012, vol. 15. Disponible em: <https://www.indexdatabase.de/>.Acessoem>
2. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V. *Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii* [Satellite mapping of the vegetation cover of Russia]. Moscow, IKI RAS Publ., 2016, 208 p. (In Russian)
3. Bratkov V.V., Ataev Z.V. Vegetation Indexes and their use for mapping mountainous landscapes of the Russian Caucasus. 2017, no. 1. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28376010_77664468.pdf (accessed 24.04.2020)
4. Spadoni G.L., Cavalli A., Congedo L., Munafò M. Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2020, vol. 20. DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100419
5. Ren H., Zhou G., Zhang F. Using negative soil adjustment factor in soil-adjusted vegetation index (SAVI) for above-ground living biomass estimation in arid grasslands. *Remote Sensing of Environment*, 2018, vol. 209, pp. 439-445. DOI: 10.1016/j.rse.2018.02.068
6. Lepikhina A.A. *Flora i rastitel'nost' Dagestana. Botanicheskie faktory noosfery* [Flora and vegetation of Dagestan. Botanical factors of the noosphere]. Makhachkala, Poligraf-ekspress Publ., 2002, 350 p. (In Russian)
7. Chilikina L.N. *Karta rastitel'nosti Dagestanskoi ASSR* [Vegetation map of the Dagestan ASSR]. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1962. (In Russian)
8. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 2017, vol. 202, pp. 18-27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031
9. Malysheva N.V. *Deshifirovaniye drevesnoi rastitel'nosti na sverkhdetal'nykh izobrazheniyakh* [Deciphering woody vegetation in ultra-detailed images]. Moscow, 2014, 40 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Раисат Т. Раджабова выполнила обзор литературы и корректировку рукописи до подачи в редакцию. Башир М. Курамагомедов и Залимхан М. Султанов проанализировали данные, выполнили обработку, дешифрирование и расчеты индексов. Наталья А. Алексеенко написала разделы «Введение» и «Заключение». Загра Ш. Тажудинова провела анализ вегетационных индексов. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Raisat T. Radzhabova reviewed the literature and corrected the manuscript before submitting it to the Editor. Bashir M. Kuramagomedov and Zalikmhan M. Sultanov analysed the data and performed processing, decryption and calculation of indices. Natalia A. Alekseenko wrote the sections "Introduction" and "Conclusion". Zagra Sh. Tazhudinova analysed vegetation indices. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Раисат Т. Раджабова / Raisat T. Radzhabova <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>

Наталья А. Алексеенко / Natalia A. Alekseenko <https://orcid.org/0000-0003-2568-4114>

Башир М. Курамагомедов / Bashir M. Kuramagomedov <https://orcid.org/0000-0002-4446-0645>

Загра Ш. Тажудинова / Zagra Sh. Tazhudinova <https://orcid.org/0000-0003-1635-7488>

Залимхан М. Султанов / Zalikmhan M. Sultanov <https://orcid.org/0000-0003-3675-6283>