

DOI: 10.12731/2658-6649-2020-12-5-165-178

УДК 550.814

## ОБНАРУЖЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ СЕНСОРОВ LANDSAT TM/ETM+

*Мамедалиева В.М., Насирова В.Р.*

**Цель.** *Определить содержание глинистых минералов и состояние лесной растительности на тех же участках.*

**Материалы и методы.** *Для выявления зависимости были использованы мультиспектральные изображения земной поверхности, полученные с помощью спутников Landsat в различные годы (1986 и 2011 гг.). В ходе исследования были определены запасы глинистых минералов в Дашкесанской области Азербайджана, а также спектральный индекс SIPI (индекс нечувствительности к структуре пигмента), отражающий степень здоровья растений в этом регионе.*

*Определение участков с высоким содержанием глинистых материалов было произведено путем расчета соотношения изображений в спектральных диапазонах SWIR 1 и SWIR 2. Составлены электронные карты. Было выявлено общее уменьшение площади таких участков за 25 лет на 5831 га. Также были рассчитаны значения индекса SIPI. На основе полученных значений этого индекса произведена классификация всех участков лесной растительности на три класса: со здоровой, поврежденной и разрушенной растительностью. Составлены электронные карты, показывающие разделение лесного покрова на 3 зоны в соответствии с указанными классами.*

*Данный алгоритм обработки был применен к данным 1986 и 2011 года. Для каждого года были составлены карты расположения глинистых минералов и значений индекса SIPI. Эти карты были наложены друг на друга и определено содержание глинистых минералов в каждой из 3 различных зон.*

**Результаты.** *Анализ динамики показал, что площадь участков с глинистыми минералами увеличилась на 2233 га в зоне здоровой лесной растительности, уменьшилась на 8064 га на поврежденных участках, а в разрушенных лесах не изменилась.*

**Заключение.** Представленный метод был также использован для определения участков, содержащих соединения двух- и трехвалентного железа.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование; Landsat; глинистые минералы; лес; растительность; электронные карты.

## DETECTION OF CLAY MINERALS BASED ON SATELLITE IMAGES OF LANDSAT TM / ETM+ SENSORS

*Mammadaliyeva V.M., Nasirova V.R.*

*Determine the content of clay minerals and the state of forest vegetation in the same areas.*

**Materials and methods.** *To identify the dependence, multispectral images of the earth's surface were used, obtained with the help of Landsat satellites in different years (1986 and 2011). During the study, the reserves of clay minerals in the Dashkesan region of Azerbaijan were determined, as well as the spectral index SIPI (index of insensitivity to the structure of the pigment), reflecting the degree of plant health in this region.*

*The identification of areas with a high content of clay materials was made by calculating the ratio of images in the spectral ranges SWIR 1 and SWIR 2. Electronic maps have been drawn up. An overall decrease in the area of such plots for 25 years by 5831 hectares was revealed. The SIPI index values were also calculated. Based on the obtained values of this index, a classification of all areas of forest vegetation into three classes was made: with healthy, damaged and destroyed vegetation. Electronic maps have been compiled showing the division of forest cover into 3 zones in accordance with the specified classes.*

*This processing algorithm was applied to data from 1986 and 2011. For each year, maps of the location of clay minerals and SIPI values were compiled. These maps were superimposed on each other and the content of clay minerals in each of 3 different zones was determined.*

**Results.** *Analysis of the dynamics showed that the area of sites with clay minerals increased by 2233 hectares in the zone of healthy forest vegetation, decreased by 8064 hectares in the damaged areas, and did not change in the destroyed forests.*

**Conclusion.** *The presented method was also used to identify areas containing ferrous and ferric compounds.*

**Keywords:** *remote sensing; Landsat; clay minerals; forest; vegetation; electronic maps.*

Горнодобывающая промышленность играет определяющую роль в коренном изменении рельефа, почвы и растительности. Добыча полезных ископаемых, горнодобывающая и горно-обогащительная промышленности являются важнейшими отраслями в экономике Дашкесанского района. Месторождение алунита в Заглике, используемое с 1960 г., является самым крупным в Европе [1]. В результате различных мероприятий антропогенного характера в северо-восточной части Малого Кавказа, особенно в Кедабекском и Дашкесанском районах Азербайджана, возникли очаги с экологической напряженностью. В связи с развитием металлургической промышленности, производства и переработки топлива, транспорта, сельского хозяйства, животноводства на данной территории земли подверглись загрязнению. Особенно в тех районах, где развита металлургическая промышленность, это загрязнение стало наиболее интенсивным. Земли этих районов более загрязнены различными отходами горнодобывающей промышленности, а также тяжелыми металлами. Это, в свою очередь, привело к ухудшению окружающей среды.

В настоящее время стало невозможным представить картографирование без использования мультиспектральных изображений Земли, получаемых с помощью космических спутников. Обладая высокой точностью географического позиционирования, спутники могут быстро наводиться на определённые участки земной поверхности, которые нужно сфотографировать [2]. Обработка мультиспектральных снимков основывается на том факте, что различные по составу объекты имеют присущую только им зависимость коэффициента отражения от длины электромагнитных волн. Это позволяет вычислять индексы для определения растительности, минералов, водных ресурсов, других объектов. Благодаря точности спектральных и пространственных характеристик, данные дистанционного зондирования используются в минералогии для картирования минералов, извлечения информации об изменениях их содержания [3, 4].

Для лесоведения информация о содержании минералов очень важна. Нормальная жизнедеятельность растений может происходить только при возможности получения из почвы элементов минерального питания. Роль различных элементов неодинакова. В лесовыращивании основное значение имеют три макроэлемента: азот, фосфор и калий. Важна роль и других минеральных элементов. Так, железо способствует фотосинтезу и дыханию, участвует в фиксации азота из воздуха клубеньковыми бактериями, катализирует начальные этапы синтеза хлорофилла, при недостатке железа падает фотосинтез и дыхание, появляется хлороз. До сих пор не выявлена роль многих других веществ [5].

Цель статьи состоит в определении местоположений и количественной оценке месторождений полезных ископаемых в выбранной контрольной зоне с использованием технологий GIS и мультиспектральных снимков земной поверхности, полученных с помощью спутника Landsat 5, а также в идентификации участков с повреждениями или разрушениями лесной растительности в этом районе, и в определении динамики повреждений.

### **Материалы и методы**

Одним из наиболее широко применяемых методов для изучения растительного покрова является анализ данных дистанционного зондирования Земли [6]. Вместе с тем возможности анализа космических снимков до сих пор используются недостаточно, например, оценка и картографирование параметров среды [7]. В качестве примера можно привести оценку и взаимосвязь содержания минералов и состояния лесной растительности. Между тем, разработка и применение моделей краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования динамики лесов в условиях комбинированного действия антропогенных и природных факторов входит в число приоритетных направлений развития лесной науки [8].

Обработка мультиспектральных снимков и операции со спектральными каналами позволяют перейти от визуального дешифрирования снимков к автоматическому распознаванию содержания тех или иных минералов или состояния растительности в целом. Вычисление спектральных индексов позволяет подчеркнуть разницу в отражении излучения в определенных частях спектра различными объектами [9].

Индекс нечувствительности к структуре пигмента, то есть индекс SIPI, может быть применен к многоспектральным изображениям для выявления областей поврежденной или разрушенной лесной растительности. Индекс SIPI максимизирует чувствительность к отношению объемных каротиноидов к хлорофиллу, одновременно сводя к минимуму влияние переменной структуры купола. Это очень полезно в областях с высокой изменчивостью структуры купола или индекса площади листа. После наложения изображений рассчитанного индекса SIPI и изображений, отражающих минералы, становится ясно, что минералы влияют на разрушения или повреждения лесного покрова.

Выбранная для исследования территория исследования богата полезными ископаемыми и имеет густой лесной массив. Исследования проводились в основном на трех типах минералов. Определялись области

с содержанием трехвалентного, двухвалентного железа и глинистых составов. В этой статье будет обсуждаться изучение глинистых соединений минералов.

Исследование было основано на спутниковых снимках Landsat 5, полученных с использованием датчика TM/ETM+. Датчик имеет следующие спектральные диапазоны (таблица 1) [10].

Таблица 1.

**Спектральные диапазоны спутника Landsat-5**

Номер канала (название)	Длина волны, мкм
1 (BLUE – синий)	0.45 - 0.52
2 (GREEN – зеленый)	0.52 - 0.60
3 (RED – красный)	0.63 - 0.69
4 (NIR – ближний инфракрасный)	0.76 - 0.90
5 (SWIR 1 – коротковолновый инфракрасный 1)	1.55 - 1.75
6 (TIR – тепловой инфракрасный)	10.40 - 12.50
7 (SWIR 2 – коротковолновый инфракрасный 2)	2.08 - 2.35

В первую очередь все исследуемые изображения прошли радиометрическую и атмосферную коррекцию. Обработка была проведена с помощью программы ENVI и входящего в ее состав модуля FLAASH [11, 12]. Для определения динамики изменений были исследованы спутниковые изображения Landsat 5 1986–2011 годов. Выбор для исследования этих лет был сделан по следующим причинам. Период с 1986 по 2011 годы можно характеризовать как период деградации лесного массива в регионе. В другой же период, с 2011 по 2019 годы, отмечена определенная стабильность площади лесных покровов. Таким образом, именно первые года указанных периодов являются наиболее репрезентативными точками.

Почти все минералы характеризуются высокими значениями коэффициента отражения в середине ближней инфракрасной области спектра (канал 5), но минералы глины (каолинит, монтмориллонит и др.) имеют полосу поглощения около 2.2 мкм в середине дальней инфракрасной области спектра (канал 7). Приводимый индекс соотношения глинистых минералов использует тот факт, что водосодержащие минералы, такие как глина и квасцовый камень, поглощают излучение в части спектра 2.0-2.3 микрон. Этот индекс снижает изменения в освещении, относящиеся к рельефу. Следовательно, для обнаружения этих минералов можно использовать следующее выражение [13, 14].

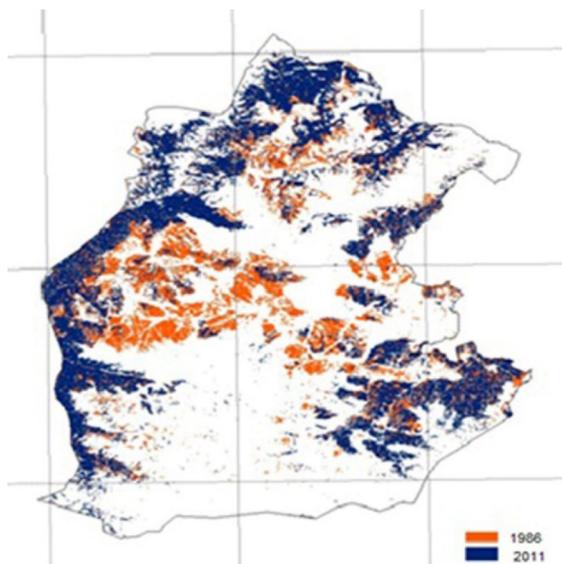
$$\text{ClayMineralRatio} = \text{SWIR1}/\text{SWIR1} \quad (1)$$

где:

SWIR 1 – значение пикселей изображений канала 5;

SWIR 2 – значение пикселей изображений канала 7.

На основании расчетов по данной формуле построены и наложены на карту Дашкесанского района изображения с указанием участков с высоким содержанием глинистых минералов 1986 и 2011 годов (рис. 1). Данные расчетов также указаны в таблице 2.



**Рис. 1.** Динамика изменений содержания глинистых минералов 1986–2011 гг.

*Таблица 2.*

**Динамика изменений содержания глинистых минералов (га)**

1986	28513
2011	22682
Уменьшение	5831

Таким образом, с 1986 по 2011 года произошло уменьшение площади с глинистыми минералами на 5831 га.

Индекс нечувствительности к структуре пигмента используется как индикатор состояния растений [15]. Высокие значения SIPI тесно связаны с увеличением количества каротиноидных пигментов, что указывает

на стресс растений. Этот индекс очень полезен для мониторинга здоровья растительности. Индекс SIPI определяется следующим выражением [16-19]:

$$SIPI = (NIR - BLUE)/(NIR - RED) \quad (2)$$

где:

NIR – значение пикселей изображений канала 4;

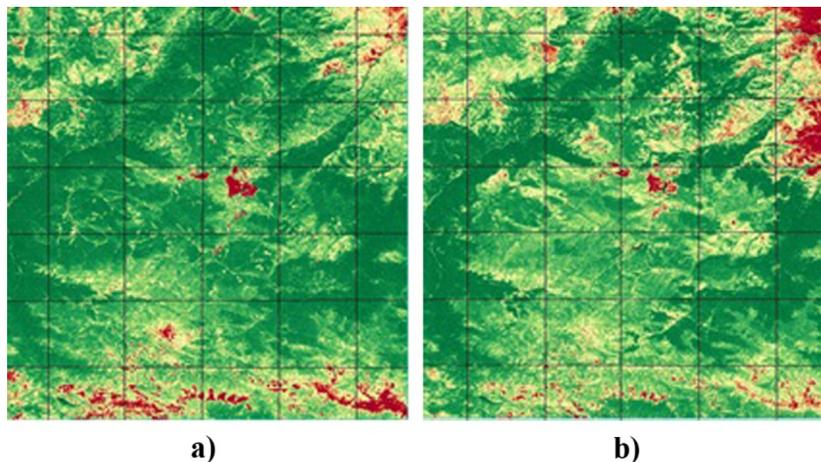
BLUE – значение пикселей изображений канала 1;

RED – значение пикселей изображений канала 3.

Индекс SIPI может изменяться от 0 до 2, а у здоровых зеленых растений это значение обычно колеблется от 0.8 до 1.8.

На основании расчетов по данной формуле построены и наложены на карту Дашкесанского района изображения значений индекса SIPI 1986 и 2011 годов (рис. 2а и 2б соответственно). Данные расчетов также указаны в таблице 3.

Темно-красные области, показанные на изображениях, представляют собой поврежденную растительность.



**Рис. 2.** Значения индекса SIPI для Дашкесанского региона за: а) 1986 г.; б) 2011 г.

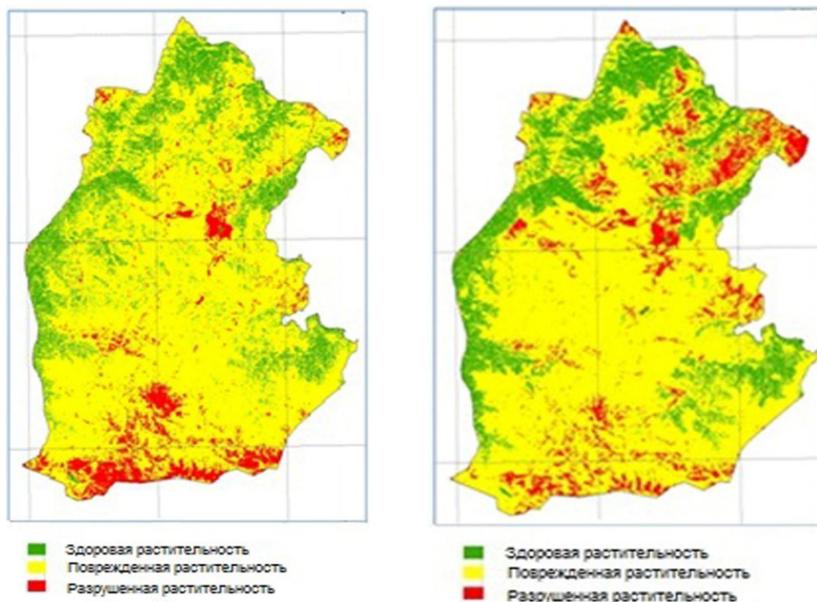
На основании рассчитанных значений SIPI была проведена классификация лесной растительности на 3 класса: здоровые, поврежденные и разрушенные участки. Результаты обработки приведены в графическом виде на рис. 3 и в виде численных данных в таблице 3. На рис. 3 зеленым цветом показаны участки со здоровой лесной растительностью, желтым –

с поврежденной и красным – с разрушенной. На основании полученных результатов можно сказать, что за 25 лет площадь здорового лесного покрова увеличилась на 1273 га, площадь поврежденных участков уменьшилась на 2290 га, а площадь разрушенного леса увеличилась на 1018 га.

Таблица 3.

Лесные площади в Дашкесанской области за 1986 и 2011 годы, га

Название класса лесной растительности	1986	2011
Здоровая лесная растительность	17042	18315
Поврежденный (ослабленный) лесорастительный покров	77242	74952
Разрушенная лесная растительность	8591	9609



а)

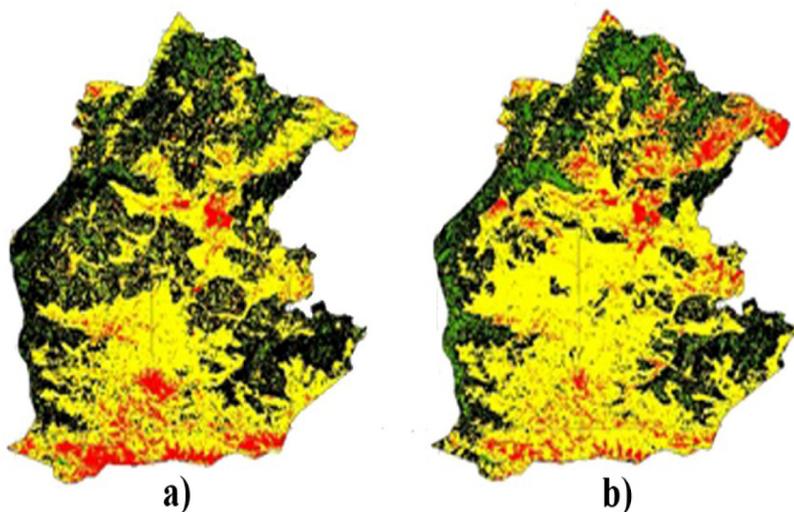
б)

Рис. 3. Классификация структуры нечувствительного пигментного индекса Дашкесанского района за: а) 1986 г.; б) 2011 г.

### Результаты и обсуждение

Карты содержания глинистых минералов (рис. 1) были наложены на карты состояния лесной растительности (рис. 3). На рис. 3 области с гли-

нистыми минералами отмечены черным цветом. Были рассчитаны площади, занимаемые участками с высоким содержанием глинистых минералов, в каждой из 3 зон (со здоровой, поврежденной или разрушенной лесной растительностью). Площади были рассчитаны как для 1986 года, так и 2011 года. Результаты вычислений отражены в графическом виде на рис. 4, а численные значения приведены в таблице 4.



**Рис. 4.** Сравнение местоположений глинистых минералов в Дашкесанском районе и карты нечувствительного пигментного индекса за: а) 1986 г.; б) 2011 г.

*Таблица 4.*

**Сравнение местоположений глинистых минералов и карты индекса SIPI в Дашкесанском районе**

Название класса лесной растительности	Площади с глинистыми минералами, га	
	1986	2011
Здоровая лесная растительность	12442	14675
Поврежденный лесорастительный покров	16071	8007
Разрушенная лесная растительность	0.36	0.36

### **Выводы**

Исходя из результатов таблицы, можно сказать, что площади с содержанием глинистых минералов увеличились на 2233 га в зоне здоровой

лесной растительности, уменьшились на 8064 га в поврежденной зоне и не изменились в зоне разрушенной лесной растительности. Таким образом, этот тип минералов, а точнее, его уменьшение в основном влияет на поврежденный лес. Глинистые минералы почти всегда встречаются там, где есть здоровая растительность. Однако с уменьшением плотности минеральных отложений это сказывается на состоянии растительности. Здоровье не остается прежним, оно слабеет.

Представленный метод был также использован для определения участков, содержащих соединения двух- и трехвалентного железа. Были использованы следующие индексы [20].

Индекс Ferrous Minerals Ratio используется для определения содержания соединений двухвалентного железа ( $Fe^{2+}$ ) и вычисляется по следующей формуле:

$$FerrousMineralRatio = SWIR1/NIR1 \quad (3)$$

Индекс Iron Oxide Ratio используется для определения содержания соединений трехвалентного железа ( $Fe^{3+}$ ) и вычисляется по следующей формуле:

$$IronOxideRatio = RED/BLUE \quad (4)$$

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- в зоне здоровой растительности наблюдается понижение содержания железа, и повышение глинистых минералов;
- в зоне поврежденной растительности наблюдается повышение содержания соединений двухвалентного железа и понижение содержания остальных минералов.

Аналогичным способом может быть определено влияние и других минералов. По результатам исследования составлена программа, полученные карты добавлены в базу геоданных района.

**Информация о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Информация о спонсорстве.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### *Список литературы*

1. Геология СССР, т. XL-НІ. Азербайджанская ССР. Полезные ископаемые. М.: Недра. 1976. С. 377-378.
2. Special Issue “Remote Sensing in Geology”. URL: [https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special\\_issues/geology](https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/geology) (дата обращения: 02.10.2020).

3. A Review of Geological Applications of High-spatial-resolution Remote Sensing Data. Chunming Wu, Xiao Li, Weitao Chen, Xianju Li. Preprint. Posted: 7 November 2018. 24 p. DOI: 10.20944/preprints201811.0162.v1.
4. Kruse F.A., Perry S.L. Mineral Mapping Using Simulated Worldview-3 Short-Wave-Infrared Imagery // *Remote Sensing*. 2013. Vol. 5(6). P. 2688-2703, DOI: 10.3390/rs5062688.
5. Луганский Н.А., Залесов С.В., Луганский В.Н. Лесоведение: учебн. пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. 2010. 432 с.
6. Homolova L., Malenovský Z., Clevers J., Garcia-Santos G., Schaepman M. Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping // *Ecological Complexity*. 2013. Vol. 15. P. 1–16. DOI: 10.1016/j.ecocom.2013.06.003.
7. Комарова А.Ф., Журавлева И.В., Яблоков В.М. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова // *Принципы экологии*. 2016. Т. 5. № 1(17). С. 24-62.
8. Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами. Лукина Н.В., Исаев А.С., Крышень А.М., Онучин А.А., Сирин А.А., Гагарин Ю.Н., Барталев С.А. // *Лесоведение*. 2015. № 4. С. 243–254.
9. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: Учебник. М.: 2010. 424 с.
10. Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). URL: [https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products) (дата обращения: 19.06.2020).
11. ENVI. URL: <http://www.gisa.ru/3430.html> (дата обращения: 19.06.2020).
12. Руководство по эксплуатации модуля ENVI – FLAASH. URL: <https://docplayer.ru/25965001-Rukovodstvo-po-ekspluatácii-modulya-envi-flaash.html> (дата обращения: 19.06.2020).
13. Mulligan C.N., Yong R.N., Gibbs B.F. Remediation technologies for metals contaminated soils and groundwater: an evaluation // *Engineering Geology*. 2001. Vol. 60. No. 1-4. Pp. 193-207. DOI: 10.1016/S0013-7952(00)00101-0.
14. Кравцов С.Л. О применении данных дистанционного зондирования Земли в геологии // *Информатика*. 2008. №3 (19). С.70-80.
15. SIPI. URL: <https://eos.com/blog/6-spectral-indexes-on-top-of-ndvi-to-make-your-vegetation-analysis-complete>. (дата обращения: 20.07.2020).
16. Genc H., Genc L., Turhan H. Vegetation indices as indicators of damage by the sunnpest (Hemiptera: Scutelleridae) to field grown wheat // *African Journal of Biotechnology*. 2008. Vol. 7 (2). P. 173-180.

17. Митрофанов Е.В., Шашнев И.В., Бубненко Д.И. О применении узко-спектральных вегетационных индексов для оценки состояния лесной растительности // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 2012. № 4. С.118-122.
18. Custom-scripts. A repository of custom scripts that can be used with Sentinel-Hub services. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/sipi1/> (дата обращения: 03.07.2020).
19. Earth Observing System. 6 spectral indexes on top of NDVI to make your vegetation analysis complete. URL: <https://eos.com/blog/6-spectral-indexes-on-top-of-ndvi-to-make-your-vegetation-analysis-complete/> (дата обращения: 03.07.2020).
20. Drury S. Image Interpretation in Geology. London: Allen and Unwin. 1987. 243 pp.

### References

1. *Geologiya SSSR. Vol. XL-III. Azerbaydzhanskaya SSR. Poleznye iskopaemye* [Geology of the USSR. Vol. XL-III. Azerbaijan SSR. Minerals]. Moscow: Nedra. 1976. P. 377-378.
2. *Special Issue "Remote Sensing in Geology"*. URL: [https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special\\_issues/geology](https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/geology) (accessed: 02.10.2020).
3. *A Review of Geological Applications of High-spatial-resolution Remote Sensing Data*. Chunming Wu, Xiao Li, Weitao Chen, Xianju Li. Preprint. Posted: 7 November 2018. 24 p. DOI: 10.20944/preprints201811.0162.v1.
4. Kruse F.A., Perry S.L. Mineral Mapping Using Simulated Worldview-3 Short-Wave-Infrared Imagery. *Remote Sensing*. 2013. Vol. 5(6). P. 2688-2703, DOI: 10.3390/rs5062688.
5. Luganskiy N.A., Zalesov S.V., Luganskiy V.N. *Lesovedenie: uchebn. posobie*. [Forestry: textbook]. Yekaterinburg: Ural State forestry university. 2010. 432 p.
6. Homolova L., Malenovský Z., Clevers J., Garcia-Santos G., Schaepman M. Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping. *Ecological Complexity*. 2013. Vol. 15. P. 1–16. DOI: 10.1016/j.ecocom.2013.06.003.
7. Komarova A.F., Zhuravleva I.V., Yablokov V.M. Otkrytye mul'tispektral'nye dannye i osnovnye metody distantsionnogo zondirovaniya v izuchenii rastitel'nogo pokrova [Open multispectral data and main methods of remote sensing in the study of vegetation cover]. *Printsiipy ekologii* [Principles of ecology]. 2016. Vol. 5. № 1(17). P. 24-62.
8. Lukina N.V., Isaev A.S., Kryshen' A.M., Onuchin A.A., Sirin A.A., Gagarin Yu.N., Bartalev S.A. Prioritetnye napravleniya razvitiya lesnoy nauki kak osnovny ustoychivogo upravleniya lesami [Priority directions for the development

- of forest science as the basis for sustainable forest management]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2015. № 4. P. 243–254.
9. Lur'e I.K. *Geoinformatsionnoe kartografirovaniye. Metody geoinformatiki i tsi-frovoy obrabotki kosmicheskikh snimkov: Uchebnik* [Geoinformation mapping. Methods of geoinformatics and digital processing of space images: Textbook]. Moscow: 2010. 424 p.
  10. *Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)*. URL: [https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products) (accessed: 19.06.2020).
  11. *ENVI*. URL: <http://www.gisa.ru/3430.html> (accessed: 19.06.2020).
  12. *Rukovodstvo po ekspluatatsii modulya ENVI – FLAASH* [User manual for the ENVI - FLAASH module]. URL: <https://docplayer.ru/25965001-Rukovodstvo-po-ekspluatatsii-modulya-envi-flaash.html> (accessed: 19.06.2020).
  13. Mulligan C.N., Yong R.N., Gibbs B.F. Remediation technologies for metals contaminated soils and groundwater: an evaluation. *Engineering Geology*. 2001. Vol. 60. No. 1-4. Pp. 193-207. DOI: 10.1016/S0013-7952(00)00101-0.
  14. Kravtsov S.L. O primenenii dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli v geologii [On the application of Earth remote sensing data in geology]. *Informatika* [Informatics]. 2008. №3 (19). P.70-80.
  15. *SIP1*. URL: <https://eos.com/blog/6-spectral-indexes-on-top-of-ndvi-to-make-your-vegetation-analysis-complete>. (accessed: 20.07.2020).
  16. Genc H., Genc L., Turhan H. Vegetation indices as indicators of damage by the sunnpest (Hemiptera: Scutelleridae) to field grown wheat. *African Journal of Biotechnology*. 2008. Vol. 7 (2). P. 173-180.
  17. Mitrofanov E.V., Shashnev I.V., Bubnenkov D.I. O primenenii uzkospektral'nykh vegetatsionnykh indeksov dlya otsenki sostoyaniya lesnoy rastitel'nosti [On the use of narrow-spectral vegetation indices for assessing the state of forest vegetation]. *Vestnik MGOU. Seriya «Estestvennye nauki»* [Vestnik MGOU. Series "Natural Sciences"]. 2012. № 4. P.118-122.
  18. *Custom-scripts. A repository of custom scripts that can be used with Sentinel-Hub services*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/sipi1/> (accessed: 03.07.2020).
  19. *Earth Observing System. 6 spectral indexes on top of NDVI to make your vegetation analysis complete*. URL: <https://eos.com/blog/6-spectral-indexes-on-top-of-ndvi-to-make-your-vegetation-analysis-complete/> (accessed: 03.07.2020).
  20. Drury S. *Image Interpretation in Geology*. London: Allen and Unwin. 1987. 243 pp.

**ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Мамедалиева Валида Мехман кызы**, нач. отдела, к.геогр.н., доцент  
*Институт экологии, Национальное Аэрокосмическое Агентство*  
*ул. С.С. Ахундова, 1, г. Баку, AZ1115, Азербайджан*  
*valide.mamedaliyeva@mail.ru*

**Насирова Вусала Рагиб кызы**, научный сотрудник  
*Институт экологии, Национальное Аэрокосмическое Агентство*  
*ул. С.С.Ахундова, 1, г. Баку, AZ1115, Азербайджан*

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Mammadaliyeva Valida Mehman**, Department Director, PhD in Geography,  
Associate Professor  
*Institute of Ecology, National Aerospace Agency*  
*1, S.S. Akhundov Str., Baku, AZ1115, Azerbaijan*  
*valide.mamedaliyeva@mail.ru*  
*ORCID: 0000-0002-8775-8564*

**Nasirova Vusala Rahib**, Researcher  
*Institute of Ecology, National Aerospace Agency*  
*1, S.S. Akhundov Str., Baku, AZ1115, Azerbaijan*