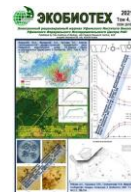




# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

http://ecobiotech-journal.ru



## ОБ ИНФОРМАТИВНОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ И NDVI СПУТНИКА ДЗЗ LANDSAT 5 TM LANDSAT 7 ETM+ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТАДИЙ ЗАРАСТАНИЯ ЛЕСА ЗАБРОШЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Туктамышев И.Р.<sup>\*1</sup>, Широких П.С.<sup>1</sup>,  
Муллагулов Р.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа

<sup>2</sup>ФГБУ «Национальный парк «Башкирия», Нугуш

\*E-mail: [shatgrands.mgm@gmail.com](mailto:shatgrands.mgm@gmail.com)

Заброшенные пахотные земли являются широко распространенным явлением в землепользовании. Для изучения и мониторинга зарастающих лесом сельскохозяйственных угодий наиболее пригодны методы, основанные на использовании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Мультиспектральные космоснимки и вегетационные индексы могут отражать различие на определенных стадиях сукцессионного развития залежной растительности. Цель работы - оценка информативности отдельных каналов снимков среднего разрешения спутника Landsat и нормализованный относительный индекс растительности (NDVI) для выявления участков растительности на различных стадиях лесовосстановительной сукцессии на заброшенных пашнях в зоне распространения широколиственных лесов в Предуралье. В качестве исходного материала использованы 30 геопривязанных геоботанических описаний стадий зарастания выполненных в 2012 г., и 9 безоблачных снимков Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ за период с апреля по октябрь 2011 г., по которым для точек описаний рассчитывались NDVI и значения по трём спектральным слоям (Red, NIR, Thermal). Наиболее информативны при разделении стадий лесовосстановления на заброшенных полях в зоне распространения широколиственных лесов в Предуралье были вегетационный индекс NDVI, температура поверхности, оцениваемая по термальному каналу. Кроме того, для выявления начальной стадии сукцессии может быть полезен Red канал.

*Ключевые слова:* заброшенные сельскохозяйственные угодия ♦ лесовосстановительная сукцессия ♦ NDVI ♦ Предуралье ♦ Landsat

## ON THE INFORMATION CONTENT OF SPECTRAL CHANNELS AND NDVI OF THE LANDSAT 5 TM LANDSAT 7 ETM+ REMOTE SENSING SATELLITE FOR ASSESSING THE STAGES OF FOREST OVERGROWTH OF ABANDONED AGRICULTURAL LANDS

Tuktamyshev I.R.<sup>\*1</sup>, Shirokikh P.S.<sup>2</sup>,  
Mullagulov R.Y.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa

<sup>2</sup>FSBI "Bashkiria National Park", Nugush

\*E-mail: [shatgrands.mgm@gmail.com](mailto:shatgrands.mgm@gmail.com)

Abandoned arable land is a widespread phenomenon in land use. Methods based on the use of remote sensing data are most suitable for studying and monitoring farmlands overgrown with forest. Multispectral satellite images and vegetation indices can reflect the difference at certain stages of the successional development of fallow vegetation. The aim of the work is to evaluate the informative value of individual channels of medium-resolution images of Landsat satellites and the normalized difference vegetation index (NDVI) for identifying vegetation areas at various stages of reforestation succession on abandoned arable land in the zone of distribution of broad-leaved forests in the Urals. As the source material we used 30 georeferenced relevés of different overgrowth stages made in 2012, and 9 cloudless Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ images for the period from April to October 2011. Using the data, NDVI and values of three spectral bands (Red, NIR, Thermal) were calculated for the relevé points. The most informative when dividing the stages of reforestation on abandoned fields in the zone of distribution of broad-leaved forests in the Urals were the NDVI vegetation index and the surface temperature estimated by the thermal channel. In addition, the red band can be useful for identifying the initial stage of succession.

*Keywords:* abandoned agricultural lands ♦ reforestation succession ♦ NDVI ♦ Cis-Urals ♦ Landsat

*Поступила в редакцию:* 20.08.2021

## ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство расширяется и интенсифицируется во многих районах мира, но одновременно с этим все более широкое распространение получают заброшенные сельскохозяйственные угодья [Zhu, 2021]. Особенно много сельскохозяйственных угодий во всем мире было заброшено за последние 50 лет [Han, 2020]. Отказ от использования сельскохозяйственных земель связан с экономическими, социальными, природными и политическими факторами [Minghua, 2020]. В течение XX века широкомасштабное прекращение использования пахотных земель было отмечено в Европе, Северной Америке и Восточной Азии [Yin, 2020]. Яркими примерами такого преобразования сельскохозяйственных земель являются изменения в землепользовании в странах бывшего Советского Союза. С 1991 года около 26 миллионов гектаров сельскохозяйственных земель были заброшены в России, Беларуси, некоторых частях Украины и Казахстана и других странах ближнего зарубежья [Fabian, 2015].

Объекты заброшенного сельского хозяйства обычно представляют собой территории, на которых в ходе сукцессионных смен после прекращения сельскохозяйственного использования сначала формируется залежная сеgetально-рудеральная растительность, которая в дальнейшем сменяется лугово-степной или лесной растительностью. Проблемы, связанные с оценкой распространения и дальнейшим использованием заброшенных сельхоз угодий требуют проведения специальных исследований. Одним из основных вариантов оценки площадей зарастания заброшенных сельскохозяйственных территорий являются методы, основанные на использовании ДЗЗ. Данные ДЗЗ могут предоставить независимые и последовательные материалы для картирования заброшенных участков пахотных земель. С точки зрения дистанционного зондирования, площади залежной растительности на месте сельскохозяйственных угодий могут картироваться двумя способами. Первый – это выявление изменений площадей пахотных земель с момента прекращения сельскохозяйственного использования земель до текущего времени, для чего требуются большое количество снимков, датируемых временем, предшествовавшим прекращению использования этих земель, т.е. анализируется изменение площадей пашни. Второй подход заключается в картировании участков залежей без оценки начала стадий сукцессии, например с восстанавливаемым лесным покровом в зонах, где леса представляют собой потенциальную естественную растительность [Alcantara, 2012].

При картировании заброшенных сельскохозяйственных земель наиболее часто используется свободно распространяемые космоснимки среднего разрешения спутников MODIS (250-500 м) и Landsat (30 м). При использовании снимков Landsat наиболее часто используются спектральные каналы Red, NIR и Thermal, а также нормализованный относительный вегетационный индекс растительности (NDVI). Вегетационный индекс (NDVI) является количественным показателем фотосинтетической активной биомассы, рассчитываемый по формуле:

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

где NIR – это отражение в ближней инфракрасной области спектра, Red – это отражение в красной области спектра [Kriegler, Rouse, 1969; 1973]. Индекс NDVI может принимать значения от -1 до 1, для вегетирующей растительности индекс NDVI принимает положительные значения и чем более развит растительный покров, тем выше значение индекса [Kriegler, Rouse, 1969; 1973].

В красной области спектра Red (0,63–0,69 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а в ближнем инфракрасной области спектра NIR (0,77–0,90 мкм) находится область максимального отражения энергии клеточной структурой листа. Термальный канал Thermal (10,40–12,50 мкм) позволяет рассчитывать температуру поверхности, которая может варьировать в зависимости от сомкнутости растительного покрова, рельефа, высоты над уровнем моря и т.д. [Land viewer (<https://eos.com/landviewer>)]. Цель работы – оценка информативности отдельных каналов снимков среднего разрешения спутников Landsat и рассчитанных по этим снимкам вегетационного индекса NDVI для выявления участков растительности на различных стадиях лесовосстановительной сукцессии на примере заброшенных пашен в зоне распространения широколиственных лесов в Предуралье.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является участок территории зарастающих сельскохозяйственных угодий, расположенный на северной границе широколиственных лесов около населенного пункта Рефанды в Мишкинском районе Республики Башкортостан (рис. 1).

До середины 90-х годов прошлого века участок этой территории использовался для выращивания зерновых культур. К началу XX века здесь сформировались различные сукцессионные стадии лесовосстановления от начальных стадий до сомкнутого древесного яруса. В 2012 году сотрудниками лаборатории УФИЦ РАН ИБ на этой территории были выполнены 30 геоботанических описания, которые характеризовали различные стадии зарастания лесом (преимущественно берёзой бородавчатой *Betula pendula* Roth). В местах с проективным покрытием менее 50% геоботанические описания выполнялись на пробных площадях размером 10 x 10 м<sup>2</sup>, а на участках с высокой сомкнутостью крон древостоя – 20 x 20 м<sup>2</sup>. В большинстве случаев конкретные пробные площади попадали на космоснимках в один из пикселей, размер которого у снимков Landsat составлял 30 x 30 м<sup>2</sup>. При классификации геоботанических описаний ранее были выделены пять сукцессионных стадий лесовосстановления. Характеристика растительности и особенностей лесовозобновления этих сукцессионных стадий представлены в табл. 1.

Для оценки стадий зарастания сельскохозяйственных угодий по данным ДЗЗ желательно использовать космоснимки того же года, что и год выполнения геоботанических описаний. Преобладающее большинство снимков 2012 года имели облачность в области интереса. В связи с этим в работе использованы 9 разновременных снимков Landsat 5 и Landsat 7 за 2011 год. Они были взяты с сайта USGS Earth Explorer (<https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents>).



**Рис.1. Участок территории зарастающих лесом сельскохозяйственных угодий, расположенный на северной границе широколиственных лесов около населенного пункта Рефанды в Мишкинском районе Республики Башкортостан.**

**Таблица 1 Характеристика растительности и особенностей лесовозобновления сукцессионных стадий на заброшенных полях в Мишкинском районе Республики Башкортостан**

Стадия зарастания	Количество геоботанических описаний, шт.	Растительные сообщества	Древесные виды	
			Средняя высота, м	Проективное покрытие, %
1	5	б.с. <i>Agrostis tenuis-Cirsium setosum</i> [Arrhenatheretalia]	1	1-5
2	5	д.с. <i>Agrostis tenuis-Betula pendula</i> вар. <i>Elytrigia repens</i> [Arrhenatheretalia / <i>Carpinetalia betuli</i> ]	4	20-25
3	5	д.с. <i>Agrostis tenuis-Betula pendula</i> вар. <i>Viola canina</i> [Arrhenatheretalia / <i>Carpinetalia betuli</i> ]	4	40-50
4	7	д.с. <i>Agrostis tenuis-Betula pendula</i> вар. <i>Plantago media</i> [Arrhenatheretalia / <i>Carpinetalia betuli</i> ]	5	60-65
5	8	д.с. <i>Epilobium montanum-Betula pendula</i> вар. <i>Platanthera bifolia</i> [Carpinetalia <i>betuli</i> ]	6	80-90

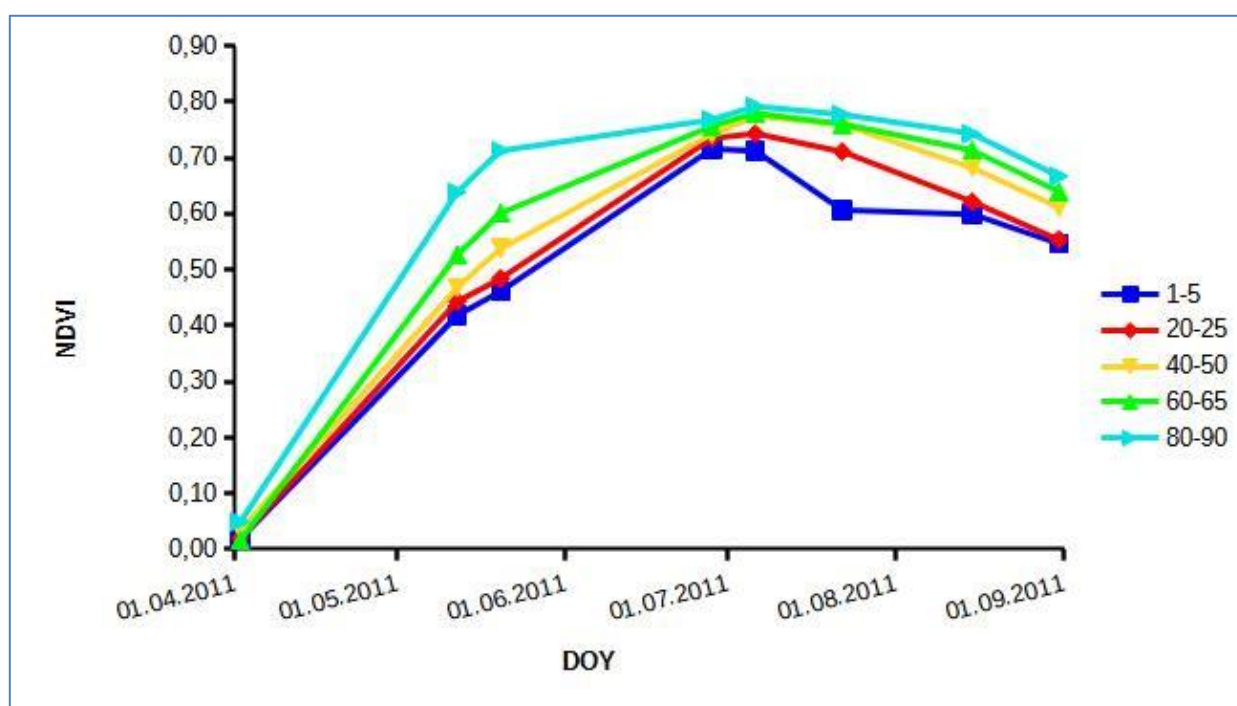


По этим снимкам для пикселей, в которые попадали геоботанические описания, рассчитывались значения спектральных каналов Red, NIR и Thermal, а также NDVI. Перед использованием снимков проводилась атмосферная коррекция и радиометрическая калибровка. Предобработка космоснимков и дальнейшие расчёты проводились в свободном программном обеспечении QGIS 3.16 [Neteler, 2008].

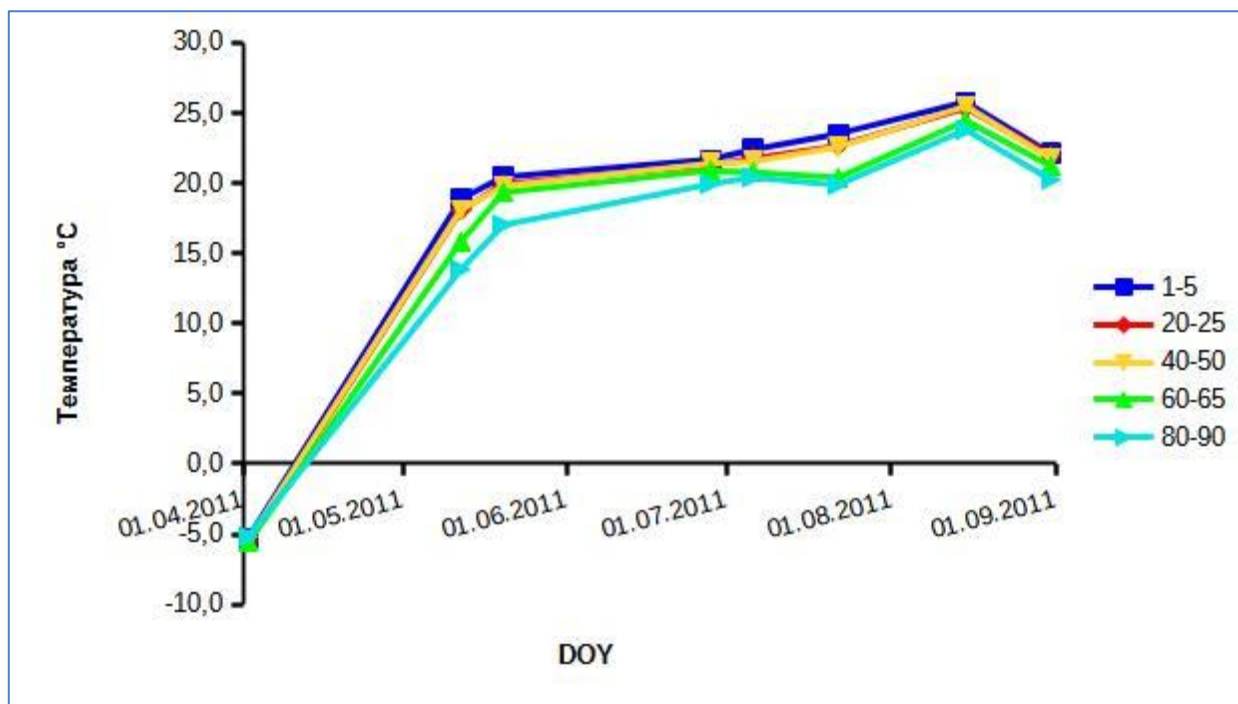
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Из табл.1 видно, что две первые сукцессионные стадии представляли собой рудерально-луговую растительность с разреженным подростом древесных видов. На четвертой и пятой стадии формирующийся древостой уже сомкнут, но в травяном ярусе по-прежнему присутствуют рудеральные виды. Фенологическое развития залежной растительности начиналось в конце апреля. К концу мая – началу июня завершилось формирование крон древесных видов. По значениям индекса NDVI в середине мая достаточно четко отличаются третья, четвертая и пятая сукцессионные стадии, т.е. стадии с сомкнутостью крон более 40% (рис. 2). Первая и вторая стадия в этот период практически не различаются, но они различаются между собой и от других стадий во второй половине июля. Это может быть связано с пожелтением травяного яруса и, в некоторых случаях, с сенокошением.

В весенний период с первой половины апреля до второй половины июля по температуре, рассчитанной по термальному каналу, от всех прочих отличается пятая сукцессионная стадия, которая характеризуется наиболее сомкнутым древесным ярусом (рис. 3). В августе четвертая и пятая стадия не различаются между собой, но отличаются от 1 – 3 стадий. Это связано с тем, что участки с менее сомкнутой древесной растительностью быстрее прогреваются в первой половине дня (11 – 12 часов – время пролета спутника Landsat)



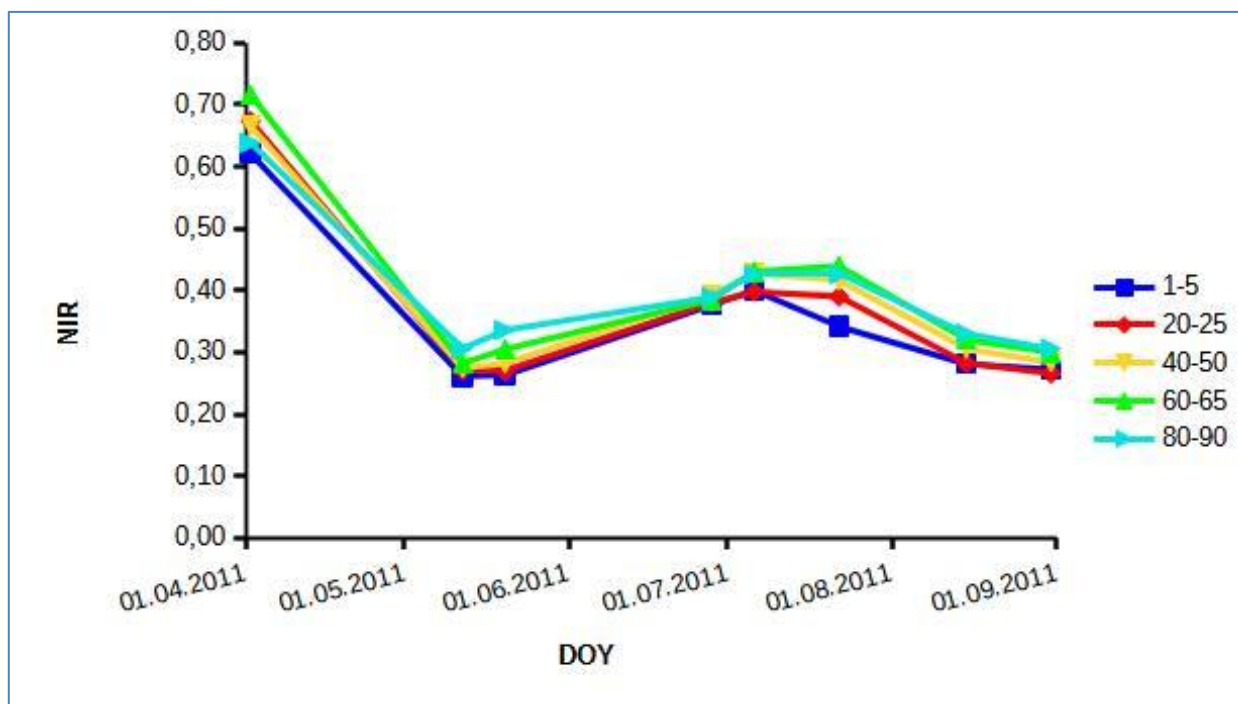
**Рис. 2.** Динамика NDVI участков растительности на разных стадиях зарастания лесом заброшенных сельскохозяйственных угодий.



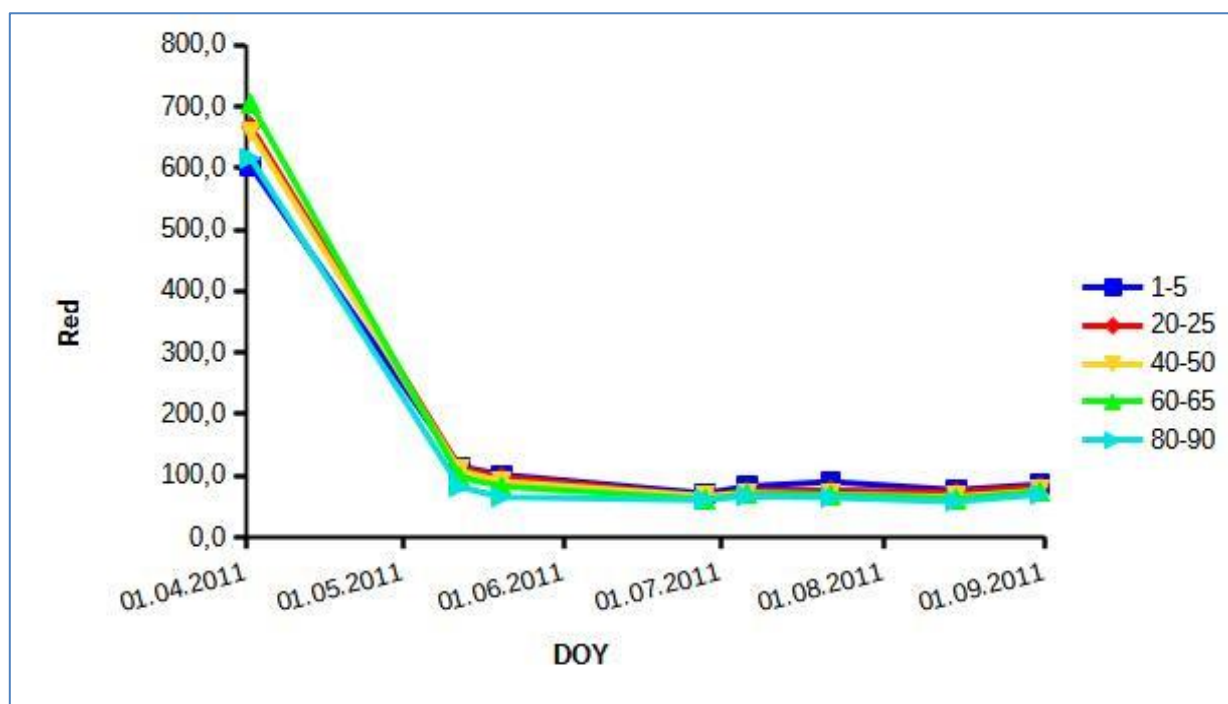
**Рис. 3. Динамика температуры участков растительности на разных стадиях зарастания лесом заброшенных сельскохозяйственных угодий.**

Из рис. 4 видно, что по ближнему инфракрасному каналу разделение стадий хуже, чем по NDVI и температуре. Наиболее четко отделяется по июльскому снимку первая стадия зарастания с единичным подростом.

Из рис. 5 видно, что по Red каналу сукцессионные стадии лесовосстановления практически не различимы и этот канал мало пригоден для классификации залежной растительности.



**Рис. 4. Динамика NIR участков растительности на разных стадиях зарастания лесом заброшенных сельскохозяйственных угодий.**



**Рис. 5. Динамика Red участков растительности на разных стадиях зарастания лесом заброшенных сельскохозяйственных угодий.**

Таким образом, наиболее информативны при разделении стадий лесовосстановления на заброшенных полях в зоне распространения широколиственных лесов в Предуралье вегетационный индекс NDVI и температура поверхности, оцениваемая по термальному каналу. Кроме того, для отделения начальной стадии сукцессии может быть полезен Red канал.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахарев П.Н., Семенов В.В., Андреев Д.Н. Использование программного продукта ENVI для создания карт экосистем заповедника "Вишерский" // ГЕОМАТИКА. 2015. № 4. С. 32-36.
2. Овчарова Н.В., Донцов А.А. Использование данных дистанционного зондирования земли для геоботанического мониторинга травяных сообществ алтайского края // Проблемы ботаники южной Сибири и Монголии. 2015. № 14. С. 214-218.
3. Сысоева Т.Г., Ковалевская Н.М., Хворова Л.А. Анализ состояния растительности на основе индекса NDVI и данных спутника Landsat 8 // Труды молодых ученых алтайского государственного университета. 2016. № 13. С. 149-152.
4. Федоров Н.И., Янбаев Ю.А., Жигунова С.Н., Михайленко О.И., Бикташев Т.У. Использование данных дистанционного зондирования земли для оценки состояния городских газонов // Вестник башкирского государственного аграрного университета. 2017. № 4. С. 122-127.
5. Ялдыгина Н.Б. Использование программного комплекса ENVI для решения задач лесного хозяйства // ГЕОМАТИКА. 2011. № 3. С. 34-39.
6. Alcantara C., Kuemmerle T., Prishchepov A., Radeloff V.C. Mapping abandoned agriculture with multi-temporal MODIS satellite data // Remote Sensing of Environment. 2012. V. 124, P. 334-347.
7. Fabian L, Fliemann E., Abdullaev I., Conrad C., Lamers J. Mapping abandoned agricultural land in Kyzyl-Orda, Kazakhstan using satellite remote sensing // Applied Geography. 2015. V. 62, № 4. P. 377-390.

8. Han Z., Song W. Abandoned cropland: Patterns and determinants within the Guangxi Karst Mountainous Area, China // *Applied Geography*. 2020. V. 122, 102245. DOI: [10.1016/j.apgeog.2020.102245](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102245)
9. Kriegler, F.J., Malila, W.A., Nalepka, R.F., and Richardson, W. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition // *Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1969. P. 97-131.
10. Landsat 8 (L8) Data users handbook, 2016 [Электронный ресурс] // USGS.GOV: [https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1574\\_L8\\_Data\\_Users\\_Handbook-v5.0.pdf](https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf) (дата обращения: 29.07.2021). P. 98.
11. Land Viewer. [Электронный ресурс] <https://eos.com/landviewer/> (дата обращения 29.07.2021).
12. Ma L., Yang S., Gu Q., Lie J., Yang X., Wang J., Ding J. Spatial and temporal mapping of cropland expansion in northwestern China with multisource remotely sensed data // *Catena*. 2019. V. 183, 104192. DOI: [10.1016/j.catena.2019.104192](https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104192)
13. Minghua W., Yueming H., Hongmei W., Guangsheng L., Liying Y. Remote sensing extraction and feature analysis of abandoned farmland in hilly and mountainous areas: A case study of Xingning, Guangdong // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2020. V. 20, 100403. DOI: [10.1016/j.rsase.2020.100403](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100403)
14. Neteler M., Mitasova H. *Open-Source GIS: A GRASS GIS Approach: Third edition*. New York: Springer, 2008. 420 p.
15. Oliphant A.J., Thenkabail P.S., Teluguntla P., Xiong J., Gumma M.K., Congalton R.G., Yadav K. Mapping cropland extent of Southeast and Northeast Asia using multi-year time-series Landsat 30-m data using a random forest classifier on the Google Earth Engine Cloud // *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*. 2019. V. 81, P. 110-124. DOI: [10.1016/j.jag.2018.11.014](https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.014)
16. Phalke A.R., Özdoğan M., Thenkabail P.S., Erickson T., Gorelick N., Yadav K., Congalton R.G. Mapping croplands of Europe, Middle East, Russia, and Central Asia using Landsat, Random Forest, and Google Earth Engine // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2020. V. 167, P. 104-122. DOI: [10.1016/j.isprsjprs.2020.06.022](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.022)
17. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, // *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351, Vol. 1. 1973. P. 309-317.
18. Yin H., Brandão A., Buchner J., Helmers D., Iuliano B.G., Kimambo N.E., Lewińska K.E., Razenkova E., Rizayeva A., Rogova N., Spawn S.E., Xie Y., Radeloff V. C. Monitoring cropland abandonment with Landsat time series // *Remote Sensing of Environment*. 2020, V. 246, 111873. DOI: [10.1016/j.rse.2020.111873](https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111873)
19. Yoon H., Kim S. Detecting abandoned farmland using harmonic analysis and machine learning // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2020. V. 166, P. 201-212. DOI: [10.1016/j.isprsjprs.2020.05.021](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.05.021)
20. You G., Liu B., Zou C., Li H., McKenzie S., He Y., Gao J., Jia X., Arain M.A., Wang S., Wang Z, Xia X., Xu W. Sensitivity of vegetation dynamics to climate variability in a forest-steppe transition ecozone, north-eastern Inner Mongolia, China // *Ecological Indicators*. 2021. V. 120, 106833. DOI: [10.1016/j.ecolind.2020.106833](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106833)
21. Zhu X., Xiao G., Zhang D., Guo L. Mapping abandoned farmland in China using time series MODIS NDVI // *Science of the Total Environment*. 2021. V. 755, Part 2, 142651. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.142651](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142651)