

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

УДК 528.88

Э.А. Терехин**СУКЦЕССИИ НА ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЛЯХ ЮГО-ЗАПАДА СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И ИХ ИЗУЧЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ****Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород*

Исследование восстановительных сукцессий на залежных землях позволяет оценить динамические процессы в растительном покрове, обусловленные ландшафтными и климатическими факторами. Изменения в растительных сообществах залежей могут сопровождаться динамикой их спектрально-отражательных характеристик. В статье изложены результаты совместного анализа рядов многолетних значений вегетационного индекса NDVI и разновременных данных Landsat для оценки сукцессионных процессов на залежных землях юго-запада Среднерусской возвышенности. Для травянистых залежей с увеличением их возраста не установлено выраженных трендов в динамике вегетационного индекса. Для залежей, зарастающих древесной, преимущественно, хвойной растительностью, наиболее ранние (на 2-й год после вывода в залежь) статистически достоверные различия от травянистых залежей в значениях вегетационного индекса начинают проявляться в апреле или октябре. Примерно на восьмой год такие различия наблюдаются во все месяцы вегетационного сезона, что обусловлено формированием на залежах сомкнутых лесных насаждений.

Ключевые слова: залежные земли, сукцессии, Среднерусская возвышенность, данные дистанционного зондирования, Landsat, MODIS.

E.A. Terekhin**SUCCESSIONS ON ABANDONED AGRICULTURAL LANDS IN THE SOUTH-WEST OF THE CENTRAL RUSSIAN UPLAND AND THEIR INVESTIGATION USING REMOTE SENSING DATA***Belgorod State National Research University, Belgorod*

Study of restoration successions on fallow lands allows for estimating dynamical processes in vegetation cover due to landscape and climatic factors. Changes in vegetation communities of fallows may be accompanied by dynamics of their spectral reflectance properties. The paper presents the results of the joint analysis of NDVI time series and multiyear Landsat satellite data for estimation of fallow lands in the south-west of the Central Russian Upland. Grassy fallow lands have not expressed long-term trends in the vegetation index dynamics. For fallows which are overgrown with forest (coniferous) and grassy vegetation the earliest (in the 2nd year after the withdrawal to fallow) statistically significant differences in the vegetation index values begin to appear in April or October. Approximately on the eighth year, such differences were observed in all months of the vegetation season, which is due to the closed forest stand formation on fallows.

Key words: fallow land, succession, Central Russian Upland, remote sensing, Landsat, MODIS.

doi 10.17072/2079-7877-2017-2-118-126

Введение

Залежные земли представляют выведенные из севооборота участки пашни, на которых более года не ведется аграрная деятельность, что обуславливает протекание процессов вторичной или восстановительной сукцессии. Они отражают ключевые динамические процессы в растительном покрове, обусловленные совокупностью ландшафтных и климатических факторов. В связи с этим их изучение является актуальной задачей, особенно для территорий, претерпевших существенные

© Терехин Э.А., 2017

* Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-4611.2016.5

изменения вследствие аграрного воздействия. Актуальность исследования современного состояния залежных земель определяется также необходимостью их использования в будущем.

Растительный покров юго-запада Среднерусской возвышенности, располагающийся преимущественно в зоне лесостепи, был значительно трансформирован вследствие освоения. В настоящее время распаханно свыше 55% его территории, а сельскохозяйственные угодья занимают свыше 70% площади [3]. За последние десятилетия ряд угодий был выведен из аграрного использования [1; 2], что обусловило развитие на них процессов, связанных с формированием естественных травянистых или древесно-кустарниковых ассоциаций. Растительность, появляющаяся на залежах, распространяется с близлежащих естественных растительных сообществ.

Формирование на залежах новых типов растительности может приводить к изменению их спектрально-отражательных свойств [7], динамика которых, в свою очередь, может быть применена для выявления особенностей процессов сукцессии. Особый интерес представляет анализ многолетних рядов спектральных показателей, фиксирующих отражательные признаки на конкретный временной срез [11]. Появление в начале 2000-х гг. спутниковых данных MODIS и информационных продуктов на их основе в определенной степени предоставило такую возможность с учетом того, что к настоящему времени накоплен архив этих данных за более чем 15 лет. Их применение совместно со снимками более высокого пространственного разрешения (например, Landsat) может быть эффективно использовано для получения информации о динамике растительного покрова [4; 6].

Цель исследования – оценка сукцессионных процессов, протекающих на залежных землях юго-запада Среднерусской возвышенности, охватывающих территорию Белгородской области, с применением материалов дистанционного зондирования Земли и данных полевых исследований. Основная задача исследования состояла в изучении многолетних рядов спектрально-отражательных характеристик для различных типов растительных сообществ, формирующихся на местах бывших аграрных угодий.

Материалы и методы исследования

Для оценки процессов сукцессии, протекающих на бывших аграрных угодьях, нами на основе материалов полевых обследований (2008–2016 гг.) и данных разновременной спутниковой съемки, преимущественно Landsat (2000–2015 гг.), было выявлено и проанализировано свыше 150 залежей, на которых наблюдались процессы сукцессии. В сравнении с Нечерноземной зоной залежные земли на юго-западе Среднерусской возвышенности, располагающиеся в зоне лесостепи, относительно немногочисленны и распространены спорадически. Тем не менее исследуемые объекты были представлены в разных его частях.

Применение спутниковых данных заключалось в изучении на их основе процессов сукцессии на месте бывших аграрных угодий и анализе многолетних рядов значений нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI [9; 10] за период с 2005–2014 гг. При этом его динамика была изучена отдельно для травянистых залежей и зарастающих древесной растительностью. На определенных стадиях сукцессии часть залежи может быть покрыта лесной, а часть – травянистой растительностью, что обуславливает определенную сложность при разделении залежей с травянистыми и древесными сообществами и формировании аналитических выборок для изучения их спектрально-отражательных свойств. Под залежи, зарастающими древесной растительностью, в исследовании мы относили бывшие аграрные угодья, на более 60% площади которых на конечную анализируемую дату сформировано сомкнутое лесное сообщество.

Для изучения особенностей процессов зарастания был сформирован временной ряд многозональной спутниковой съемки Landsat TM, ETM+, OLI, снимки из которого охватывали территорию региона (ячейки в системе WRS-2: 177025, 176025, 177024). Многолетняя динамика вегетационного индекса была изучена на основе информационных продуктов MOD13Q1 [8], создаваемых на базе снимков MODIS (пространственное разрешение 250 м/пиксель). Следует отметить, что на текущий момент времени нет более детальных спутниковых данных, позволяющих анализировать многолетние ряды спектральных характеристик для отдельных аграрных угодий. Ряд вегетационного индекса был рассчитан для каждого анализируемого объекта с интервалом в 16 дней методом зональной статистики в геоинформационной среде ArcGIS. После этого был выполнен геоинформационный и статистический анализы полученных данных (в программе STATISTICA), заключающиеся в оценке различий спектральных характеристик различных типов зарастания и изучении их временных рядов NDVI.

Результаты и их обсуждение

Исследование спектрально-отражательных характеристик природных объектов по материалам дистанционного зондирования во многом определяется свойствами и возможностями применяемых спутниковых данных, в первую очередь их пространственным разрешением. В связи с тем, что многие выявленные нами залежи имели относительно небольшую площадь (7-15 га), изучение их спектральных характеристик по данным MODIS было затруднительно. Поэтому для анализа многолетней динамики вегетационного индекса нами была сформирована выборка залежей площадью более 15 га, на которых формируются как древесные, так и травянистые сообщества (табл. 1). Также можно выделить смешанный тип залежей со смешанной растительностью, но фактически этот тип отражает некоторые стадии сукцессии залежей, зарастающих лесными формациями.

Залежи, меньшие по размеру при анализе спектрально-отражательных свойств, не использовались в связи с тем, что для них, по причине относительно невысокого пространственного разрешения исходных спутниковых данных, было проблематично выполнить расчет и количественную оценку спектральных показателей.

Таблица 1

Характеристика выборки залежей

Тип растительности на конечной стадии сукцессии	Площадь средняя, га	Объем выборки	Суммарная площадь, га	Ст. откл.	Коэф. вар., %
Травянистая	38,3	55	2109,1	25,7	66,9
Древесная	31,5	29	912,3	14,1	44,8
Смешанная	39,3	36	1413,7	21,5	54,7
Всего	37,0	120	4435,1	22,2	59,9

Залежи, на которых формируются травянистые сообщества. На залежах с травянистыми ассоциациями в большинстве случаев формируются разнотравно-злаковые сообщества (рис. 1). В настоящем исследовании под травянистыми залежами мы понимаем такие бывшие аграрные угодья, на которых древесно-кустарниковая растительность может присутствовать, но ее доля не превышает 5% площади. В первые годы залежи, как правило, зарастают сорными травами с крупным стержнем (бурьянистая стадия), но в последующие годы начинают преобладать длиннокорневищные злаки и разнотравье.



Рис. 1. Растительный покров залежей возрастом более 10 лет

Год перевода пашни в залежь можно выявить по спутниковым снимкам путем определения периода времени, в который на ней перестают наблюдаться признаки распашки (рис. 2).

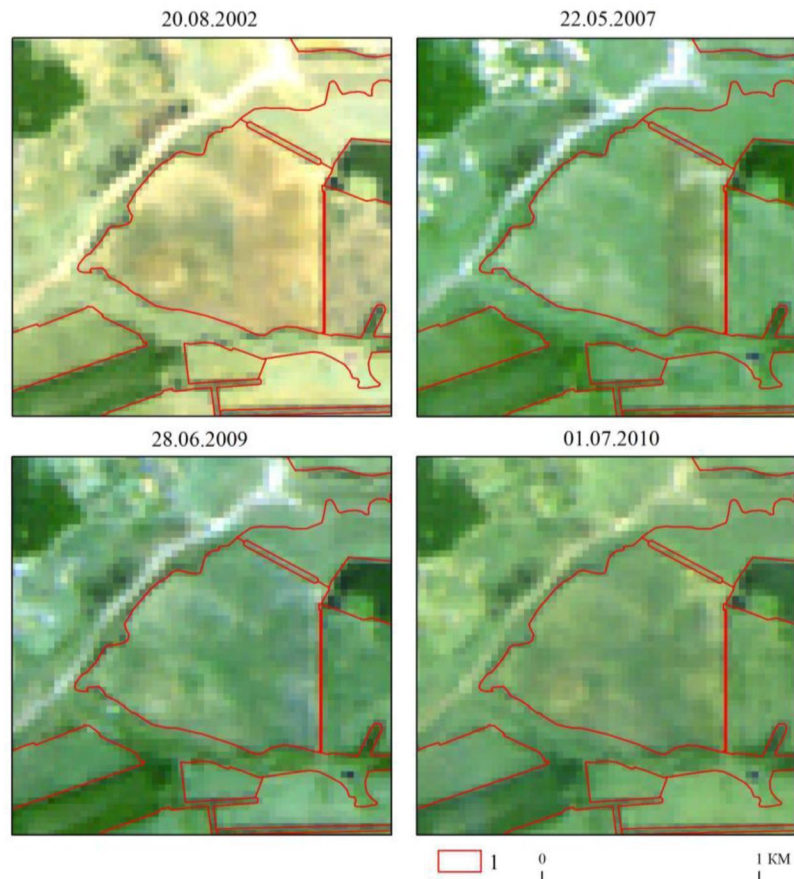


Рис. 2. Поле в состоянии пашни (2002 г.) и залежи (2007–2010 гг.) на снимках Landsat:
 1 – контуры аграрных угодий

Для травянистых залежей, как правило, необходимо несколько снимков за год для подтверждения факта отсутствия распашки в текущий год. Для залежей возрастом более 5 лет нами были рассчитаны и проанализированы ряды вегетационного индекса с целью получения представлений о том, как изменяется его динамика по мере развития растительных сообществ на месте бывших аграрных угодий. Анализ залежей, занятых травянистыми ассоциациями, показал, что заметные изменения в годовой динамике индекса (рис. 3) наблюдаются в годы, следующие сразу после прекращения распашки (на графике – 2005 г.).

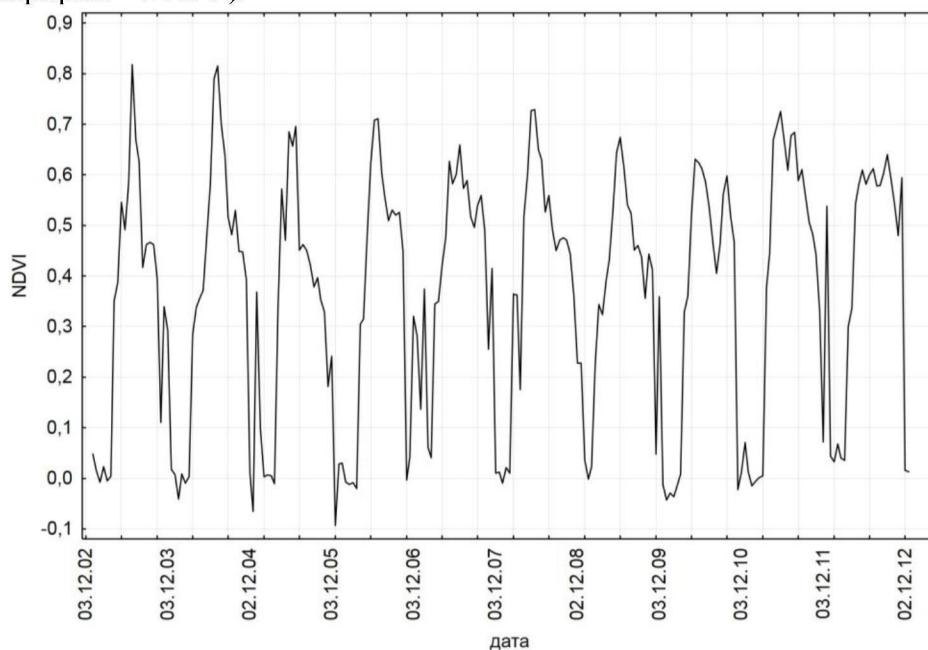


Рис. 3. Динамика NDVI для залежи (начиная с 2005 г.) разнотравно-злакового состава

В последующие годы, с повышением возраста залежи, выраженных трендов в динамике индекса не наблюдается. При этом увеличение возраста травянистых залежей приводит к снижению их максимальных годовых значений NDVI и величины его стандартного отклонения, что обусловлено формированием на них стационарных растительных сообществ. Необходимо отметить, что на рис. 3 столь низкие минимальные годовые значения вегетационного индекса обусловлены наличием на залежи снежного покрова в зимние месяцы.

С точки зрения территориальной оценки повышенная концентрация залежей наблюдается в районах распространения малоплодородных почв легкого гранулометрического состава, в том числе сформированных на аллювии речных террас.

Залежи, зарастающие древесной растительностью. На территории региона сельскохозяйственные угодья практически повсеместно граничат с лесными полосами, окаймляющими широко распространенную овражно-балочную сеть. Смежное положение с ними обуславливает то, что в случае перевода конкретной посевной площади переводят в залежь, на ее окраинах через 2–3 года начинает распространяться древесно-кустарниковая растительность, произрастающая в лесополосах или лесных массивах. На снимках высокого пространственного разрешения, полученных с интервалом 2–3 года, этот процесс наблюдается достаточно четко, и его проявление может выступать вполне надежным диагностическим признаком выделения залежных земель в системе аграрных угодий.

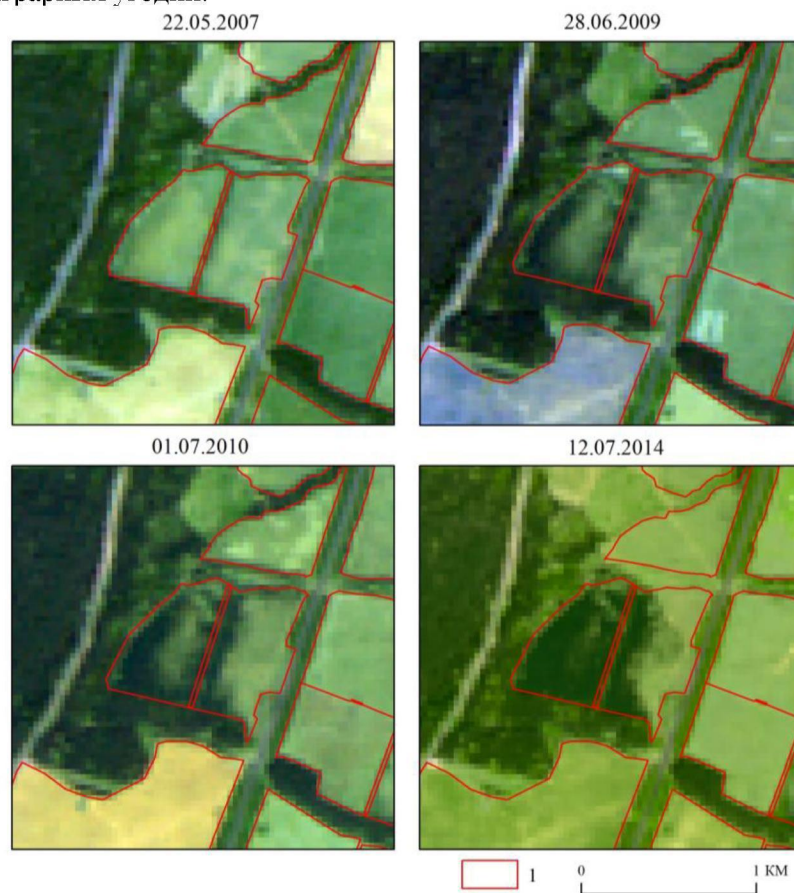


Рис. 4. Отображение процесса зарастания залежи древесной (хвойной) растительностью на разновременных снимках Landsat (синтез 7-5-3): 1 – контуры угодий

На территории юго-запада Среднерусской возвышенности залежи, зарастающие хвойным лесом (наиболее распространенный тип зарастания древесной растительностью), приурочены к ареалам распространения сосновых лесов, что установлено нами на основе анализа 77 объектов. Это относится к участкам как естественного, так и искусственного лесовозобновления. Несмотря на то, что в регионе доминируют лиственные леса, преимущественно дубравы, залежи, интенсивно зарастающие хвойными породами, получили большее распространение, что обусловлено биологическими особенностями сосны. Сосна обыкновенная, составляющая основу хвойных лесных насаждений региона, отличается неприхотливостью [5] и растет на малоплодородных почвах

(песчаных почвах), характерных для залежей в некоторых частях региона. По причине относительно высокой скорости распространения древесной растительности этот тип зарастания уверенно выявляется на разновременных спутниковых данных (рис. 4), особенно если дешифрирование производится с использованием контуров пахотных угодий на начальную анализируемую дату.

На примыкающих к сосновым насаждениям аграрных угодьях, выведенным из севооборота, начинается процесс лесовозобновления. В отличие от многолетних травянистых залежей для бывших аграрных угодий, зарастающих хвойной растительностью, характерен выраженный тренд вегетационного индекса (рис. 5). Смещение амплитуды его годовых колебаний при зарастании древесной, особенно хвойными насаждениями, обусловлено более высокими значениями NDVI в зимний период для сосновых лесов, так как хвоя зимой не опадает.

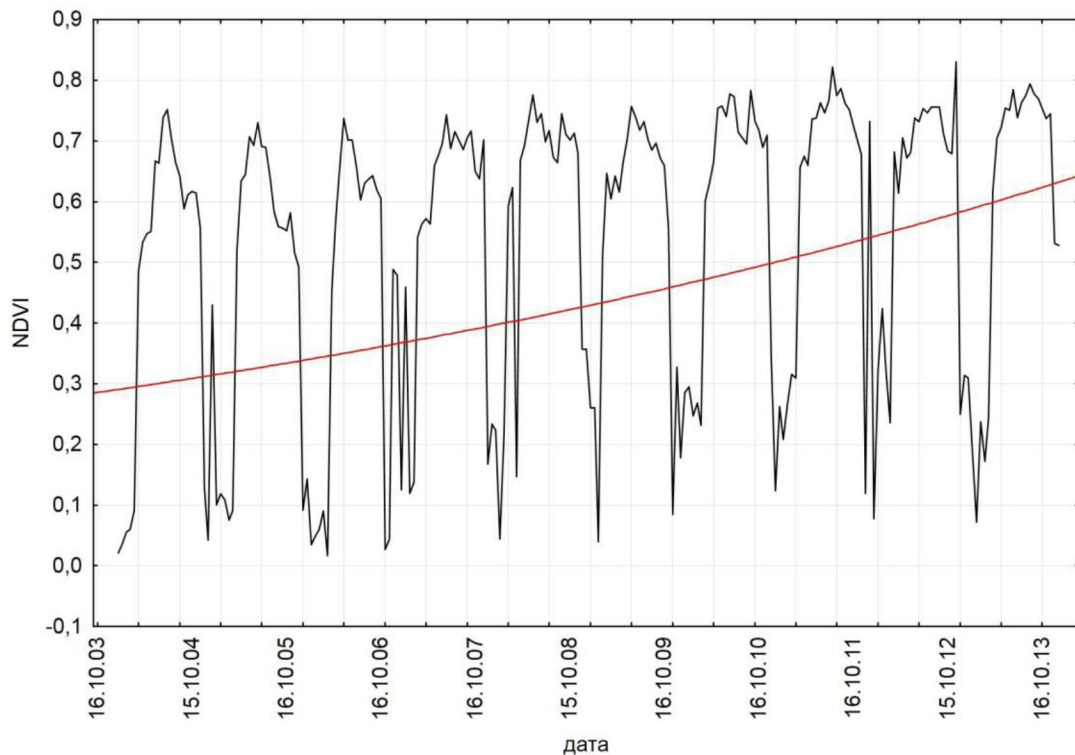


Рис. 5. Динамика NDVI залежи, зарастающей сосновым лесом

Количественный анализ значений вегетационного индекса показал, что подобные изменения в спектральном отклике достоверно могут быть выявлены только при анализе относительно крупных залежей, для которых пространственное разрешение снимков MODIS (250 м/пиксель) позволяет рассчитать спектральные характеристики. Экспериментальная оценка показала, что данные MODIS не гарантируют выявления межгодовых различий в спектральных характеристиках для достоверно зарастающих лесом залежей, если их площадь составляет менее 30 га. Особенно, если залежь имеет вытянутую форму, при расчете ее спектральных характеристик могут быть учтены пиксели соседних угодий.

На следующем этапе были изучены промежутки времени, с которых начинают наблюдаться различия в значениях вегетационного индекса для залежей, зарастающих древесной и травянистой растительностью. В исследовании мы исходили из предположения, что для травянистых залежей или зарастающих древесной (хвойной) растительностью с определенного года должны наблюдаться статистически достоверные различия. Поэтому за период 2004–2013 гг. для обоих типов залежей нами были исследована статистическая значимость различий вегетационного индекса. Репрезентативной выборки значений для залежей, зарастающих лиственным лесом, сформировать не удалось. Позднеосенние и зимние значения NDVI также не было возможности репрезентативно учесть по причине закрытия облачностью многих анализируемых объектов. Оценка показала (табл. 2), что распространение хвойных пород на залежах начинает отражаться, в первую очередь, на осенних и весенних значениях вегетационного индекса, что происходит на второй год после начала процесса распространения хвойной растительности.

Таблица 2

Достоверность различия сезонных значений NDVI для травянистых залежей и зарастающих древесной (хвойной) растительностью с 2005 г.

NDVI	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
07.04	1	1	0	0	1	1	1	1	1
23.04	0	1	1	0	1	0	1	1	1
09.05	0	0	0	0	0	0	0	0	1
25.05	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10.06	0	0	0	0	0	0	0	0	1
26.06	0	0	0	0	0	0	1	1	1
12.07	0	0	0	0	0	1	0	1	1
28.07	0	0	0	1	1	1	1	1	1
13.08	0	0	0	1	1	0	1	1	1
29.08	0	0	1	1	1	1	1	1	1
14.09	0	0	0	1	1	1	1	1	1
30.09	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Примечание: 1 – достоверное отличие, 0 – отсутствие достоверного отличия.

Обусловлено это тем, что в эти сроки значения индекса хвойных пород (сосна), распространяющихся на залежах, зарастающих древесной растительностью, максимально отличаются от значений индекса сухой травы, доминирующей на залежах с травянистыми формациями. На восьмой год после начала процесса зарастания достоверные различия проявляются во все месяцы вегетационного сезона, т.е. к этому времени во все сроки вегетационного сезона значения индекса залежи с древесной растительностью статистически достоверно отличаются от значений NDVI травянистых залежей.

Заключение

На территории юго-запада Среднерусской возвышенности на бывших аграрных угодьях формируются как травянистые, так и лесные сообщества. Зарастание древесной, преимущественно, хвойной растительности распространено на залежах, примыкающих к сосновым лесным насаждениям. Травянистые залежи распространены во всех частях региона. По мере увеличения возраста залежей с разнотравно-злаковыми сообществами, как правило, не наблюдается выраженных трендов в многолетней динамике вегетационного индекса NDVI. Наиболее распространенный тип залежей, зарастающих древесной растительностью, – залежи с формирующимися хвойными насаждениями. Для таких залежей характерен выраженный тренд многолетней динамики вегетационного индекса, обусловленный ростом минимальных годовых (зимних) его значений. Этот тип залежей по ранневесенним и позднесенним значениям индекса на второй год после начала распространения на них хвойных пород начинает отличаться от травянистых залежей. Примерно к восьмому году после начала процесса зарастания статистически значимые отличия от травянистых залежей наблюдаются во все месяцы вегетационного периода.

Библиографический список

1. Китов М.В., Григорьева О.И., Цапков А.Н. О результатах оценки площади залежных земель в Белгородской области // Степной бюллетень. 2016. №46. С. 29–35.
2. Китов М.В., Цапков А.Н. Изменения площадей залежных земель на европейской территории России за период 1990–2013 гг // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2015. Т. 32. № 15(212). С. 163–171.
3. Лисецкий Ф.Н., Польшина М.А., Нарожняя А.Г., Кузьменко Я.В. Решение почвоводоохранных и экологических задач при внедрении ландшафтных систем земледелия // Проблемы региональной экологии. 2007. № 6. С. 72–79.
4. Терехин Э.А. Влияние проективного покрытия растительности посевных площадей на ее спектрально-отражательные свойства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 61–71.
5. Чернявских В.И., Дегтярь О.В., Дегтярь А.В., Думачева Е.В. Растительный мир Белгородской области. Белгород: Белгородская областная типография, 2010. 472 с.

6. Busetto L., Meroni M., Colombo R. Combining medium and coarse spatial resolution satellite data to improve the estimation of sub-pixel NDVI time series // *Remote Sensing of Environment*. 2008. Vol. 112. No. 1. P. 118–131.
7. Estel S., Kuemmerle T., Levers C., Hostert P., Alcántara C., Prishchepov A. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series // *Remote Sensing of Environment*. 2015. Vol. 163. P. 312–325.
8. Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Saleous N., Roy D.P., Morisette J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status // *Remote Sensing of Environment*. 2002. Vol. 83. No. 1-2. P. 3–15.
9. Rouse J.W., Haas R.H., Scheel J.A., Deering D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. // *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*. 1974. Vol. 1. Pp. 48-62.
10. Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation // *Remote Sensing of Environment*. 1979. Vol. 8. P. 127–150.
11. Zhang B., Zhang L., Xie D., Yin X., Liu C., Liu G. Application of synthetic NDVI time series blended from Landsat and MODIS data for grassland biomass estimation // *Remote Sensing*. 2016. Vol. 8. No. 1. doi:10.3390/rs8010010

References

1. Kitov, M.V., Grigor'eva O.I. and Tsapkov A.N. (2016), “O rezul'tatakh otsenki ploshchadi zaleznykh zemel' v Belgorodskoy oblasti”, *Stepnoy byulleten'.* no.46, pp.29–35.
2. Kitov, M.V. and Tsapkov, A.N. (2015), “Izmeneniya ploshchadey zaleznykh zemel' na evropeyskoy territorii Rossii za period 1990-2013 gg”, *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, vol. 32, no. 15 (212), pp. 163–171.
3. Lisetskiy, F.N., Pol'shina, M.A., Narozhnyaya, A.G. and Kuz'menko, Ya.V. (2007), “Reshenie pochvovodookhrannykh i ekologicheskikh zadach pri vnedrenii landshaftnykh sistem zemledeliya”, *Problemy regional'noy ekologii*, no. 6, pp. 72–79.
4. Terekhin, E.A. (2016) “Vliyanie proektivnogo pokrytiya rastitel'nosti posevnykh ploshchadey na ee spektral'no-otrazhatel'nye svoystva”, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, Vol. 13, No. 3, pp. 61–71.
5. Chernyavskikh, V.I., Degtyar', O.V., Degtyar', A.V., Dumacheva, E.V. (2010), *Rastitel'nyy mir Belgorodskoy oblasti*, Belgorod: Belgorodskaya oblastnaya tipografiya, 472 p.
6. Busetto, L., Meroni, M., Colombo, R. (2008), Combining medium and coarse spatial resolution satellite data to improve the estimation of sub-pixel NDVI time series, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, No. 1, pp. 118–131.
7. Estel, S., Kuemmerle, T., Levers, C., Hostert, P., Alcántara, C., Prishchepov, A. (2015), “Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series”, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 163, pp. 312–325.
8. Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Vermote, E.F., Masuoka, E., Wolfe, R.E., Saleous, N., Roy, D.P. and Morisette, J.T. (2002), An overview of MODIS Land data processing and product status, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83, No. 1-2, pp. 3–15.
9. Rouse, J.W., Haas, R.H., Scheel, J.A., Deering, D.W. (1974), Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, Vol. 1, pp. 48-62.
10. Tucker, C.J. (1979), Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 8, pp. 127–150.
11. Zhang, B., Zhang, L., Xie, D., Yin, X., Liu, C., Liu, G. (2016), Application of synthetic NDVI time series blended from Landsat and MODIS data for grassland biomass estimation, *Remote Sensing*, vol. 8, no. 1, doi:10.3390/rs8010010.

Поступила в редакцию: 17.02.2017

Сведения об авторе

Терехин Эдгар Аркадьевич

кандидат географических наук, старший научный сотрудник, НИУ «Белгородский государственный университет»;

About this author

Edgar A. Terekhin

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Belgorod State National Research University;

308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85;
e-mail: terekhin@bsu.edu.ru

85, Pobedy st., Belgorod, 308015, Russia;
e-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Терехин Э.А. Сукцессии на залежных землях юго-запада Среднерусской возвышенности и их изучение с применением спутниковых данных // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №2(41). С.118–126. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-118-126

Please cite this article in English as:

Terekhin E.A. Successions on abandoned agricultural lands in the South-West of the Central Russian Upland and their investigation using remote sensing data // Geographical bulletin. 2017. № 2(41). P. 118–126. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-118-126