

ОЦЕНКА ВТОРИЧНОЙ СУКЦЕССИИ НА ЗАЛЕЖАХ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

С. А. Лежнин, Р. Л. Музурова

Поволжский государственный технологический университет

В работе изложены основные результаты исследования вторичной сукцессии на землях залежей Республики Марий Эл по спутниковым снимкам Landsat 8. Использование спутниковых данных для изучения зарастающих участков земель запаса является эффективным и перспективным направлением современных научных исследований. Анализ научной литературы показал недостаточный уровень использования средств дистанционного зондирования Земли для мониторинга зарастания залежей в Российской Федерации. В ходе исследования установлено, что в Республике Марий Эл наблюдается устойчивая ситуация с зарастанием залежей молодняками древесных пород. Общая площадь сельскохозяйственных угодий республики составляет 451629,5 га. Больше четверти всех сельскохозяйственных территорий зарастают древесно-кустарниковой растительностью: на 18,04 % от всей площади происходит возобновление лиственных пород, на 13,34 % – хвойных пород. Общая точность полученной тематической карты составила 87,5 %, что является высоким показателем точности проведенных работ. Коэффициент Кappa составил 0,83, что свидетельствует о высокой согласованности полученной тематической карты натурным данным. Вместе с тем, сравнение карт 2019 и 2016 годов показало незначительную тенденцию по улучшению сложившейся ситуации: только часть из заросших залежей вернулась в сельскохозяйственный оборот. Стоит отметить, что оценка зарастания сельскохозяйственных земель древесными породами должна включать в себя не только оценку площадей, но и другие характеристики вновь появившихся лесных экосистем, такие как густота, возраст или запас фитомассы. Кроме того, требуется проведение комплексного анализа всех причин, которые приводят к этому процессу: социально-экономические факторы, плотность населения и степень развития инфраструктуры.

Ключевые слова: залежи, спутниковые снимки, ArcGIS, ENVI, тематическая карта, оценка точности, Landsat 8.

ESTIMATION OF SECONDARY SUCCESSION ON THE ABANDONED AGRICULTURAL LANDS IN MARI EL REPUBLIC

S. A. Lezhnin, R. L. Muzurova

Volga State University of Technology

The paper presents the results of research into secondary succession on the abandoned agricultural lands in Mari El Republic using Landsat 8 satellite images. The use of satellite data to study these lands is a priority research area nowadays. The research literature review proved that remote sensing methods are underused for the monitoring of overgrown abandoned agricultural lands in the Russian Federation. As a result of research it has been revealed that the abandoned lands in Mari El Republic are gradually overgrown with young stock of timber species. The total area of agricultural lands in the Republic is 451,629.5 ha. More than a quarter of all agricultural lands are overgrown with tree and shrub vegetation: 18.04% of the total area is naturally regenerated with hardwoods, 13.34 % – with coniferous species. The overall accuracy of the obtained thematic map is 87.5 %, which proves that the work has been carried out with high accuracy. Kappa coefficient is 0.83, which indicates a high consistency of the obtained thematic map with full-scale data. At the same time, the comparative analysis of thematic maps from 2016 and 2019 showed a slight improvement of the current situation - the overgrown abandoned lands have been partly converted into agricultural use. The assessment of overgrowth of agricultural lands with timber species should include not only the assessment of areas, but also other characteristics of new forest ecosystems, such as density, age or phytomass stock. Moreover, a comprehensive analysis of all the caus-

es leading to overgrowing should be carried out including the analysis of socio-economic factors, population density and the degree of infrastructure development.

Keywords: *abandoned agricultural lands, satellite images, ArcGIS, ENVI, thematic maps, accuracy assessment, Landsat 8.*

Введение

Заращение заброшенных сельскохозяйственных угодий лесной и кустарниковой растительностью является на сегодняшний день актуальной проблемой не только в России, но и во многих зарубежных странах. Среди основных причин данного явления можно выделить смену парадигмы лесо- и землепользования, изменение климата как на региональном, так и на глобальном уровнях, мировые продовольственный и экономический кризисы.

В Российской Федерации главными причинами появления древесно-кустарниковой растительности на заброшенных сельскохозяйственных полях являются смена экономического строя в конце XX столетия, значительный отток работающего населения на городские территории, а также переход к фермерскому хозяйству. В этот период значительно (практически в 20 раз) сократилось государственное финансирование сельскохозяйственной отрасли (Ерусалимский, 2011). Результатом стало то, что многие совхозы и колхозы прекратили свою деятельность, те же, которые продолжили работу, не могли в полной мере использовать весь потенциал сельскохозяйственных угодий. Отсутствие финансирования стало главной причиной отказа от применения дорогостоящих удобрений, что привело к снижению урожайности и отсутствию обработки части земель.

До настоящего времени нет полноценной системы учета и оценки заброшенных сельскохозяйственных земель (залежей), в том числе и древесно-кустарниковой растительности на них. Вместе с тем данной проблемой занимается значительное количество исследовательских коллективов как в России, так и за рубежом (Новоселова, 2007; Kuemmerle et al., 2008).

В 2012 году группа ученых (Прищепов и др., 2012) провела работу по оценке распределения заброшенных сельскохозяйственных земель в ряде стран Восточной Европы (Польша, Беларусь, прибалтийские страны, Российская Федерация). Результаты исследования показали, что по сравнению с 1990 годом уже к 2000 году было заброшено около 27 % сельскохозяйственных угодий. Лидером в этом процессе оказалась Латвия, где работы перестали вести на 42 % всех сельскохозяйственных площадей. Значительное количество угодий осталось без обработки в России (31,3 %) и Литве (28,4 %). В Беларуси и Польше оказалось примерно количество залежей (13,5 % и 14 % соответственно). Из российских регионов наихудшее положение в сельском хозяйстве оказалось в Смоленской области, где было заброшено около 46 % сельхозугодий (в некоторых районах региона этот показатель достигал 60 %) (Prishchepov et al., 2012).

Необходимо отметить, что изучение проблемы зарастания залежей массово началось с 2008 года. К примеру, Институт географии РАН изучал динамику зарастания залежей лесной растительностью в различных условиях (Ерусалимский, 2011). Результатом исследования стали данные о том, что состав молодняков леса на залежах зависит от почв, расстояния до стены леса и размеров заброшенного участка. Ученые сделали вывод, что при достаточном количестве рубок ухода на заросших залежах можно сформировать устойчивые смешанные насаждения (Люри и др., 2010).

В Российской Федерации по отдельным данным зарастает лесной растительностью до 70 млн га залежей. Основные площади зарастания расположены в Европейской части России (Сонген и др., 2005).

Ученые из Швейцарии с помощью спутниковых данных обнаружила существенное влияние изменений в сельском хозяйстве на депонирование и запасы углерода, особенно в гор-

ной местности (Bolliger et al., 2008). Группа под руководством Ruskule определила факторы, которые влияют на ход зарастания залежных земель на начальном этапе, а также породный состав деревьев-пионеров (Ruskule et al., 2016). Считается, что появление древесной растительности на заброшенных сельскохозяйственных угодьях способствует увеличению общего биоразнообразия региона, поэтому такие участки необходимо включать в лесной фонд (Zakkak, 2018). Другой точкой зрения на возможность сохранения лесной растительности на залежах являются выводы группы ученых, изучавших лесовосстановление в австралийских тропических нагорьях (Shoo et al., 2016), которые пришли к заключению, что продуктивность сукцессионных насаждений на залежах сравнима с эталонными тропическими лесами.

Несмотря на активное изучение рассматриваемой проблемы, в мировой научной литературе достаточно слабо освещены вопросы использования средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для оценки и мониторинга зарастания залежей. Тем не менее, работы в этом направлении ведутся (Cord et al., 2017). Использование спутниковых снимков для проведения подобных исследований является важным направлением, т.к. современные технологии способны оценить значительные площади с наименьшими финансовыми и человеческими трудозатратами (Курбанов и др., 2014; Курбанов и др., 2015; Воробьев и др., 2015).

Ученые из Польши изучили возможность использования лидарной съемки для автоматического картирования изменений в землепользовании (Wężyk et al., 2018). Особое внимание в их исследовании было посвящено процессу вторичной сукцессии лесной растительности на залежных землях.

Особое распространение в последние годы получили методы мониторинга заброшенных сельскохозяйственных земель с использованием дополнительной информации, получаемой со спутников: различные виды спектральных преобразований, индексы растительности и другие подходы (Воробьев, Курбанов, 2017; Johansson, 2007; Lucas et al., 2007; Pinto, Fernandes, 2011).

Группа европейских специалистов разработала метод картографирования залежей с использованием индекса растительности NDVI, результатом которого стала общеевропейская карта участков сельскохозяйственных угодий, заросших древесно-кустарниковой растительностью (Estel et al., 2015).

В Республике Марий Эл неоднократно проводились исследования, затрагивающие тему зарастания залежей древесной растительностью. Были изучены возможности различных спутниковых систем в подобных научных изысканиях. К примеру, спутниковые снимки Landsat-8 в сочетании 6,5 и 2 спектральных каналов являются оптимальными для оценки формирующихся на залежах лесных экосистем (Лежнин, 2016). Для исследования этой же территории применялись и спутниковые снимки высокого разрешения (RapidEye и Alos). Проводимые работы показали, что высокое разрешение положительно сказывается на породной разделимости. Кроме того, подобные спутниковые снимки применимы для выявления и оценки площадей зарастания лесной растительностью заброшенных сельскохозяйственных угодий (Лежнин, 2013).

Главной **целью исследования** был мониторинг площадей участков лесных экосистем, сформировавшихся на залежах с помощью данных среднего разрешения Landsat-8 за период с 2016 по 2019 год.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

- закладка тестовых участков на залежах на северо-востоке Республики Марий Эл;
- создание тематической карты зарастающих сельскохозяйственных угодий 2019 года;
- сравнение тематических карт 2016 и 2019 годов для выявления динамики площадей вторичной сукцессии на залежах.

Материалы и методы

Полевые исследования

Летом 2019 года на территории исследования было заложено 140 тестовых площадей (ТП) с привязкой их к спутниковым снимкам в программном комплексе ArcGIS. Выбор места закладки тестовых участков был обусловлен наличием на них древесной растительности. Захватывались как участки зарастания, так и контрольные участки, земля на которых свободна от деревьев (рис. 1).

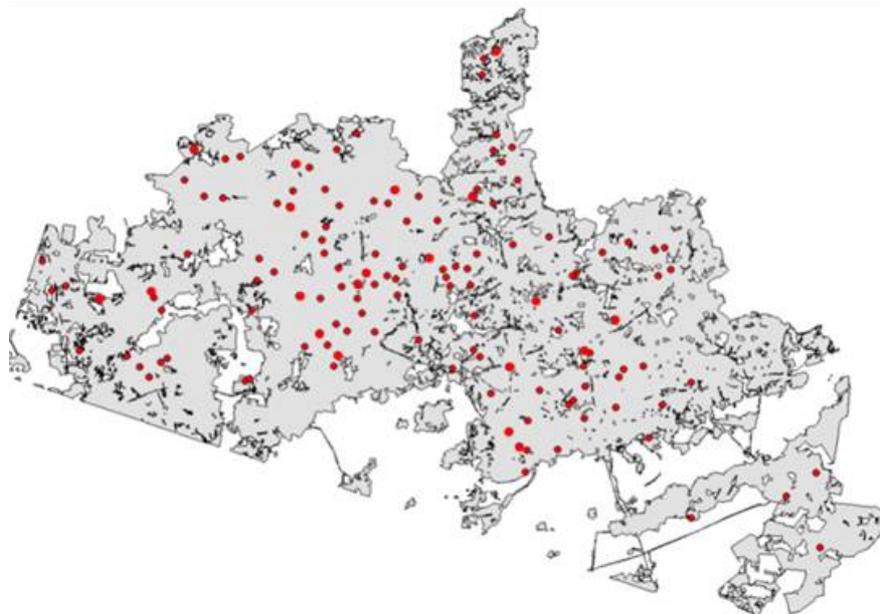


Рис.1. Распределение заложённых тестовых участков на территории исследования

Основой исследования было картографирование молодняков хвойных и лиственных пород на залежах северо-восточной части Республики Марий Эл по спутниковым снимкам Landsat-8 за летний период 2019 года (рис. 2). Подобранный снимок прошел процедуры атмосферной и геометрической коррекции в программном комплексе ENVI.

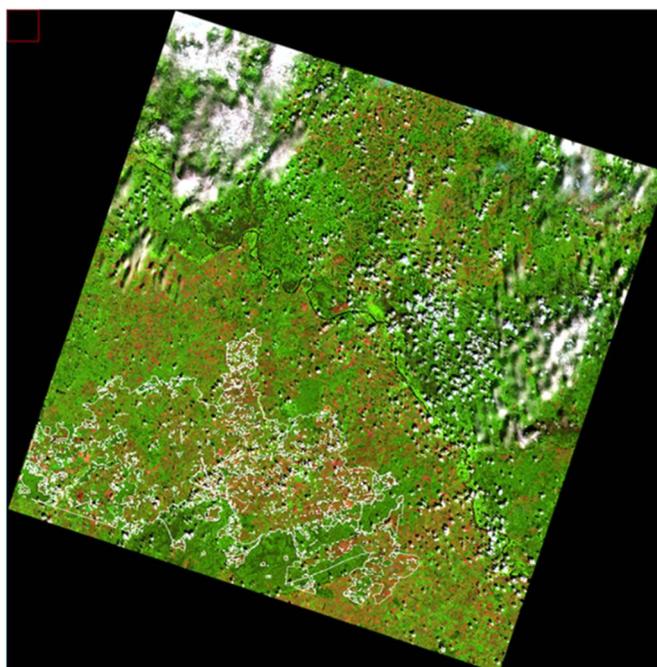


Рис..2. Сцена Ландсат-8 (сочетание 6-5-2 спектральных каналов), используемая в работе (белым цветом выделена непосредственно территория исследования)

Чтобы улучшить породную разделимость, снимок прошел процедуру Pan-Sharpening, в результате которой пространственное разрешение исходного снимка увеличилось с 30 до 15 м (рис. 3).

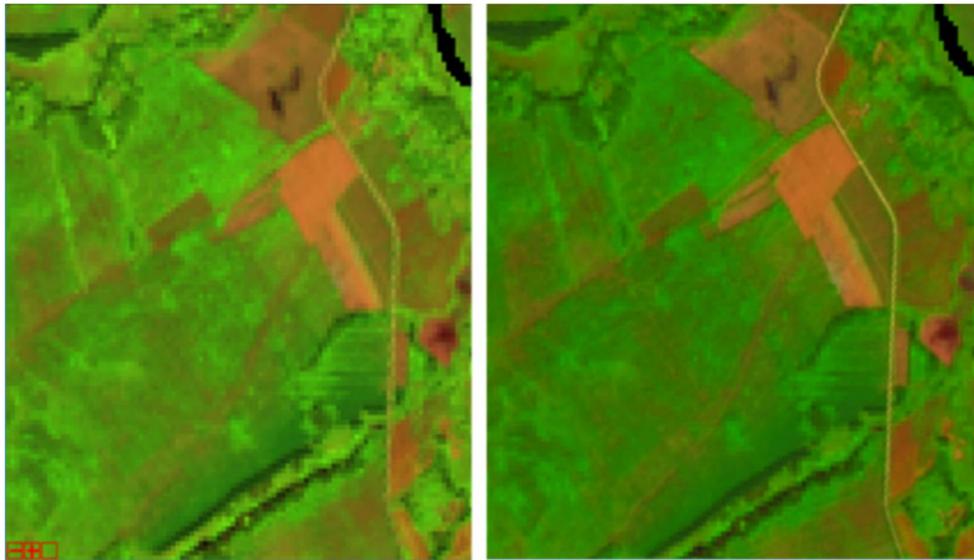


Рис. 3. Фрагмент спутникового снимка Landsat 8 до и после процедуры Pan-Sharpening

Для получения тематической карты была проведена управляемая классификация методом максимальной правдоподобности, где в качестве опорных данных были использованы заложенные ТП. На тематической карте было выделено 5 классов: используемые сельскохозяйственные земли, зарастание залежей лиственными породами, зарастание залежей хвойными породами, водные объекты и лесные территории.

Результаты исследования и их обсуждение

Результатом управляемой классификации подготовленного снимка стала тематическая карта на 5 классов, которая позволила выявить расположение участков зарастания неиспользуемых сельскохозяйственных земель древесной растительностью (рис. 4).

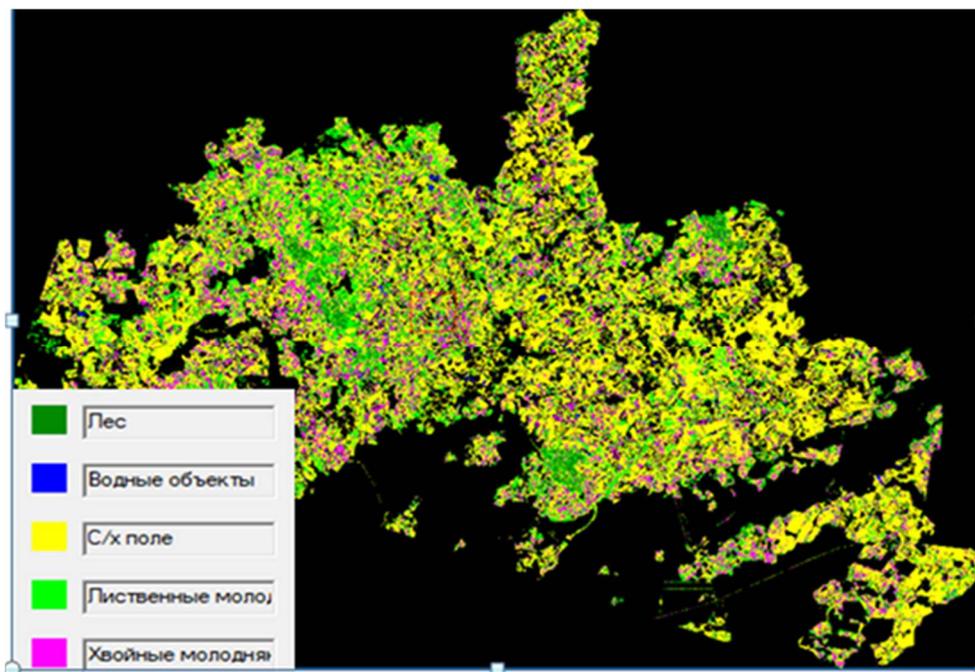


Рис. 4. Тематическая карта лесовозобновления на залежах северо-восточной части Республики Марий Эл

По полученной карте проведена оценка площади каждого класса, результаты которой представлены в таблице 1.

Таблица 1

Распределение площадей тематической карты

Класс	Площадь, га	Доля от общей площади сельскохозяйственных земель, %
Лесные участки	39738,15	8,81
Используемые сельскохозяйственные земли	268022,28	59,31
Водные объекты	2068,11	0,47
Хвойные молодняки на залежах	60391,35	13,37
Лиственные молодняки на залежах	81409,61	18,04
Итого:	451629,5	100

Как видно из таблицы, общая площадь сельскохозяйственных земель северо-восточной части Республики Марий Эл составила 451629,5 га. 18,04 % исследуемой территории занято молодняками лиственных пород, тогда как хвойные породы возобновились на 13,37 % общей площади. Такие цифры говорят о значительном количестве залежей в республике.

Для оценки точности полученной тематической карты была создана матрица различий с использованием 120 контрольных точек, набранных пропорционально площадям полученных классов (табл. 2). При этом на каждый класс было набрано не менее 20 тестовых точек, исключение составил только класс водных объектов, для которого было собрано 10 тестовых точек, т.к. он занимает совсем небольшую площадь на территории исследования.

Таблица 2

Матрица различий тестовых участков

Класс	Лесные участки	Используемые сельскохозяйственные земли	Водные объекты	Хвойные молодняки на залежах	Лиственные молодняки на залежах	Итого
Лесные участки	17	2	0	0	1	20
Используемые сельскохозяйственные земли	3	45	0	1	2	51
Водные объекты	0	0	10	0	0	10
Хвойные молодняки на залежах	0	1	0	17	1	19
Лиственные молодняки на залежах	0	2	0	2	16	20
Итого:	20	50	10	20	20	120

Очевидно, что точность выявления используемых сельскохозяйственных земель составила 90 % (45 участков, попавших в класс, из 50 возможных). Лиственные молодняки на залежах выявились с точностью 80 % (16 участков из 20), а хвойные – с точностью 85 % (17 участков из 20). Общая точность полученной карты составила 87,5 %, что является очень высоким результатом. Коэффициент Каппа, показывающий соответствие тематической карты эмпирическим данным составил 0,83, что говорит о высокой согласованности полученной тематической карты с натурными данными.

Для выявления динамики площадей вторичной сукцессии на залежах была создана карта различий обнаружения изменений. Этот метод позволяет увидеть различие разновременных карт исследуемой территории, с указанием участков положительных и отрицательных изменений. Полученная карта (рис. 5) была сравнена с тематической картой 2016 года, полученной в ходе ранее проведенных исследований (Лежнин, 2016).

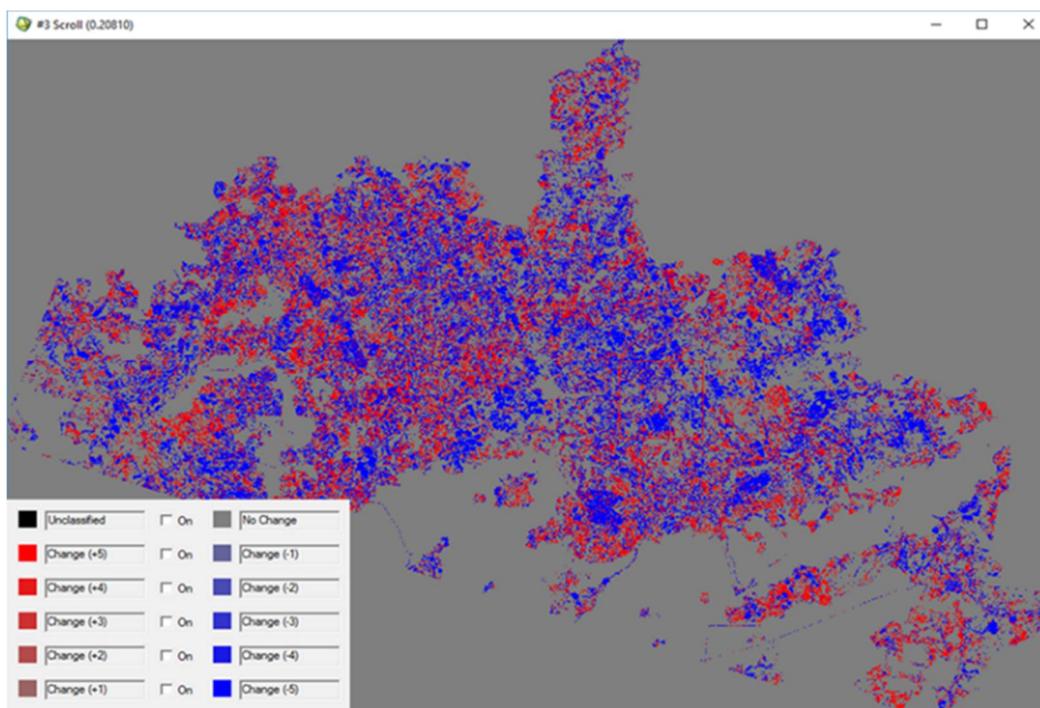


Рис. 5. Карта изменений с 2016 по 2019 год

Синим цветом на карте обозначены участки, на которых сельскохозяйственные поля начали вновь обрабатываться. Подобные изменения составили 10,64 % от всей территории исследования. Красным цветом обозначены территории, которые за прошедший период заросли древесно-кустарниковой растительностью. Площадь этих участков составила 7,31 % от территории исследования. В целом можно сделать вывод, что в Республике Марий Эл наблюдается незначительная тенденция по возвращению залежных земель в сельскохозяйственный оборот.

Выводы

Созданная в ходе исследования карта зарастающих сельскохозяйственных земель за 2019 год подтвердила факт наличия залежей, на которых произошла вторичная сукцессия древесными породами. Принадлежность исследуемых участков землям фонда запаса и перераспределения подтверждается кадастровыми данными Министерства государственного имущества Республики Марий Эл. Результаты исследования показали высокие точность эксперимента и соответствие полученной тематической карты натурным данным.

Выявленная площадь сельскохозяйственных угодий республики составила 451629,5 га. Больше четверти всех сельскохозяйственных территорий зарастают древесно-кустарниковой растительностью: 18,04 % всей площади занимает возобновление лиственных пород, 13,34 % – возобновление хвойных пород. Вместе с тем сравнение карт 2019 и 2016 годов показало незначительную тенденцию по улучшению сложившейся ситуации, часть из заросших залежей вернулась в сельскохозяйственный оборот.

Применение современных дистанционных технологий позволяет в достаточной точностью проводить мониторинг залежей на предмет возобновления на них древесных пород. Вместе с тем стоит отметить, что методы оценки зарастания сельскохозяйственных земель древесными породами должны совершенствоваться и включать в себя не только оценку площадей, но и другие характеристики появившихся лесных экосистем, такие как густота, возраст или запас фитомассы. Кроме того, необходимо проведение и комплексного анализа всех причин, которые привели к тому, что сельскохозяйственные земли оказались заброшенными,

таких как социально-экономические факторы, плотность населения и степень развития инфраструктуры.

Проект выполнен в рамках Гранта Президента РФ МК-6343.2018.11 «Разработка методов и технологии дистанционного мониторинга и прогнозирования нарушений режима использования сельскохозяйственных земель для снижения риска экологических катастроф»

Библиографический список

1. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева, О.В. Коптелов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1(25). – С. 5-21.
2. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг восстановительной динамики растительности на гарях Марийского лесного Заволжья / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – № 2 (14). – С. 124-134.
3. Ерусалимский, В.И. Лес и пашня / В.И. Ерусалимский // Лесное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 14-15.
4. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности: монография / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 131 с.
5. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С. 18-32.
6. Лежнин, С.А. Дистанционный метод оценки формирования молодяков на залежах Марийского лесного Заволжья по спутниковым снимкам: автореф.дисс...канд.с.-х. наук / С.А. Лежнин. – Йошкар-Ола, 2013. – 22 с.
7. Лежнин, С.А. Мониторинг зарастающих сельскохозяйственных земель Республики Марий Эл по снимкам LANDSAT-8 / С. А. Лежнин // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. – Йошкар-Ола, 2016. – С. 192-199.
8. Люри, Д.И. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX в. и постагрогенное восстановление растительности и почв / Д.И. Люри, С.В. Горячкин, Н.А. Караваева и др. – Москва: ГЕОС М, 2010. – 416 с.
9. Новоселова Н.Н. Формирование лесных насаждений на землях, вышедших из под сельскохозяйственного пользования в таежной зоне Пермского края: автореф.дисс...канд.с.-х. наук. / Н.Н. Новоселова. – Екатеринбург, 2007. – 21 с.
10. Прищепов, А.В. Влияние институциональных и социоэкономических изменений после распада СССР на сельскохозяйственное землепользование в Восточной Европе / А.В. Прищепов, Ф.С. Раделлофф, М. Бауманн, Т. Кюммерле, Д. Мюллер // Земля из космоса. – 2012. – Вып. 14. – С. 7-14.
11. Сонген, Б. Запасы и потоки углерода в лесном и земельном фондах России: инвентаризация и потенциал смягчения последствий климатических изменений / Б. Сонген, К. Андраско, М. Гитарский, Г. Коровин и др. – Москва: ЦЭПЛ, 2005. – 51 с.
12. Bolliger J, Effects of land-use change on carbon stocks in Switzerland / J. Bolliger, F. Hagedorn, J. Leifeld, J. Bohl, S. Zimmermann, R. Soliva, F. Kienast // Ecosystems. – 2008. – No. 11 (6). – P. 895-907.
13. Cord, A. Priorities to Advance Monitoring of Ecosystem Services Using Earth Observation / A.F. Cord, K.A. Brauman, R.Shaplin-Kramer, A. Huth, G. Ziv, R. Zeppelt // Trends in Ecology & Evolution. – 2017. – P. 416-428.
14. Estel, S. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series / S Estel, T Kuemmerle, C Alcántara, C Levers, A Prishchepov, P. Hostert // Remote Sensing of Environment. – 2015. – P.312-325.
15. Johansson, T. Biomass production and allometric above- and below-ground relations for young birch stands planted at four spacings on abandoned farmland / T. Johansson // Institute of Chartered Foresters, 2007. – 12 p.
16. Kuemmerle, T. Gross-border comparison of post-socialist farmland abandonment in the Carpathians / T. Kuemmerle, P. Hostert, V.C. Radeloff, S. van der Linden, K. Perzanowsk, I. Kruhlov // Ecosystems. – 2008. – No. 11. – P. 614-628.
17. Lucas, R. Rule-based classification of multi-temporal satellite imagery for habitat and agricultural land cover mapping / R. Lucas, A. Rowlands, A. Brown, S. Keyworth, P. Bunting // ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. – 2007. – No. 62. – P. 165-185
18. Pinto, L. Multitemporal analyses of the vegetation cover of coastal sand dune ecosystems in Natal/RN, based on NDVI index / L. Pinto, L. Fernandes // Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBR, Curitiba, PR, Brasil, 2011. – P.1895.
19. Prishchepov, A. V. Agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe. Effects of institutional changes on land use / A.V. Prishchepov, V.C. Radeloff, M. Baumann, T. Kuemmerle, D. Muller // Environmental Research Letters. – 2012. – P. 7-13.
20. Ruskule, A. Soil – vegetation interactions in abandoned farmland within the temperate region of Europe / A. Ruskule, O. Nikodemus, R. Kasparinskis, D. Prizavoite, D.Bojare, G. Brumelis // New Forest. – 2016. –Vol.47 (4). – P. 587-605.

21. Shoo, L. Slow recovery of tropical old-field rainforest regrowth and the value and limitations of active restoration / L. Shoo, K. Freebody, J. Kanovski, C. Catterall // *Conservation Biology*. – 2015. – Vol.30 (1). – P. 121-132
22. Wężyk, P. Landscape monitoring of post-industrial areas using LiDAR and GIS technology / P. Wężyk, M. Szostak, W. Krzaklewski, M. Pająk, M. Pierzchalski, P. Szwed, P. Hawrył, M. Ratajczak // *Geodesy and cartography*. – 2015. – Vol. 64, No. 1. – P. 125-137.
23. Zakkak, S. Vegetation patterns along agricultural land abandonment in the Balkans / S. Zakkak, A. Radovic, M. Panitsa, K. Vassilev, L. Shuka, M. Kutner, S. Schindler, V. Kati // *Journal of Vegetation Science*. – 2018. – Vol.29 (5) – P. 877-886.

References

1. Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A., Gubaev A.V., Polevshchikova Yu.A., Demisheva E.N., Koptelov O.V. Distantionnyi monitoring gorodskikh lesov [Remote monitoring of urban forests], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management], 2015, No. 1(25), pp. 5-21.
2. Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A. Distantionnyi monitoring vosstanovitel'noi dinamiki rastitel'nosti na garyakh Mariiskogo lesnogo Zavolzh'ya [Remote monitoring of the restoration dynamics of vegetation in the burned areas of the Mari forest Trans-Volga], *Sovremennye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2017, No. 2 (14), pp. 124-134.
3. Erusalimskii V.I. Les i pashnya [Forest and arable land], *Lesn. khoz-vo [Lesn. household]*, 2011, No. 2, pp. 14-15.
4. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Lezhnin S.A., Gubaev A.V., Polevshchikova Yu.A. Tematicheskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validatsiya i otsenka tochnosti [Thematic mapping of vegetation by satellite imagery: validation and accuracy assessment]; monografiya, Ioshkar-Ola: PGU, 2015, 131 p.
5. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A., Demisheva E.N. Chetyre desyatiletiya issledovaniy lesov po snimkam Landsat [Landsat's four decades of forest research], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management], 2014, No. 1(21), pp. 18-32.
6. Lezhnin S.A. Distantionnyi metod otsenki formirovaniya molodnyakov na zalezkhakh Mariiskogo lesnogo Zavolzh'ya po sputnikovym snimkam [A remote method for assessing the formation of young growth in the deposits of the Mari forest Trans-Volga region using satellite images]: avtoref. dis... kand. s.-kh. nauk, Yoshkar-Ola, 2013, 22 p.
7. Lezhnin S.A. Monitoring zarastayushchikh sel'skokhozyaistvennykh zemel' Respubliki Marii El po snimkam LANDSAT-8 [Monitoring of overgrown agricultural land of the Mari El Republic according to images of LANDSAT-8], *Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantionnyi monitoring* [Forest Ecosystems under Climate Change: Biological Productivity and Remote Monitoring], Ioshkar-Ola, 2016, pp. 192-199.
8. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A. i dr. Dinamika sel'skokhozyaistvennykh zemel' Rossii v XX v. i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv [The dynamics of agricultural land in Russia in the twentieth century. and post-agrogenic restoration of vegetation and soil], Moskva: GEOS M, 2010, 416 p.
9. Novoselova N.N. Formirovanie lesnykh nasazhdeniy na zemlyakh, vyshedshikh iz pod sel'skokhozyaistvennogo pol'zovaniya v taizhnoi zone Permskogo kraja [The formation of forest plantations on lands that have been abandoned for agricultural use in the taiga zone of the Perm Territory]: avtoref. dis... kand. s.-kh. nauk, Ekaterinburg, 2007, 21 p.
10. Prishchepov A.V., Radeloff F.S., Baumann M., Kyummerle T., Myuller D. Vliyanie institutsionnykh i sotsioekonomicheskikh izmeneniy posle raspada SSSR na sel'skokhozyaistvennoe zemlepol'zovanie v Vostochnoi Evrope [The impact of institutional and socioeconomic changes after the collapse of the USSR on agricultural land use in Eastern Europe], *Zemlya iz kosmosa* [Earth from space], 2012, Vyp. 14, pp. 7-14.
11. Songen B., Andrasko K., Gitarskii M., Korovin G. i dr. Zapasy i potoki ugleroda v lesnom i zemel'nom fondakh Rossii: inventarizatsiya i potentsial smyagcheniya posledstviy klimaticheskikh izmeneniy [Carbon stocks and flows in the forest and land funds of Russia: inventory and mitigation potential of climate change], Moskva: TsEPL, 2005, 51 p.
12. Bolliger J., Hagedorn F., Leifeld J., Bohl J., Zimmermann S., Soliva R., Kienast F. Effects of land-use change on carbon stocks in Switzerland, *Ecosystems*, 2008, No. 11 (6), pp. 895-907.
13. Cord A., Brauman K.A., Shaplin-Kramer R., Huth A., Ziv G., Zeppelt R. Priorities to Advance Monitoring of Ecosystem Services Using Earth Observation, *Trends in Ecology & Evolution*, 2017, pp. 416-428.
14. Estel S., Kuemmerle T., Alcántara C., Levers C., Prishchepov A., Hostert P. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series, *Remote Sensing of Environment*, 2015, pp. 312-325.
15. Johansson T. Biomass production and allometric above- and below-ground relations for young birch stands planted at four spacings on abandoned farmland, *Institute of Chartered Foresters*, 2007, 12 p.
16. Kuemmerle T., Hostert P., Radeloff V.C., van der Linden S., Perzanowski K., Kruhlov I. Gross-border comparison of post-socialist farmland abandonment in the Carpathians, *Ecosystems*, 2008, No. 11, pp. 614-628.
17. Lucas R., Rowlands A., Brown A., Keyworth S., Bunting P. Rule-based classification of multi-temporal satellite imagery for habitat and agricultural land cover mapping, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2007, No. 62, pp. 165-185.
18. Pinto L., Fernandes L. Multitemporal analyses of the vegetation cover of coastal sand dune ecosystems in Natal/RN, based on NDVI index, *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2011, pp.1895.

19. Prishchepov A. V., Radeloff V.C., Baumann M., Kuemmerle T., Muller D. Agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe. Effects of institutional changes on land use, *Environmental Research Letters*, 2012, pp. 7-13.
20. Ruskule A., Nikodemus O., Kasparinskis R., Prizavoite D., Bojare D., Brumelis G. Soil – vegetation interactions in abandoned farmland within the temperate region of Europe, *New Forest*, 2016, Vol.47 (4), pp. 587-605.
21. Shoo L., Freebody K., Kanovski J., Catterall C. Slow recovery of tropical old-field rainforest regrowth and the value and limitations of active restoration, *Conservation Biology*, 2015, Vol.30 (1), pp. 121-132.
22. Wężyk P., Szostak M., Krzaklewski W., Pająk M., Pierzchalski M., Szwed P., Hawryło P., Ratajczak M. Landscape monitoring of post-industrial areas using LiDAR and GIS technology, *Geodesy and cartography*, 2015, Vol. 64, No. 1, pp. 125-137.
23. Zakkak S., Radovic A., Panitsa M., Vassilev K., Shuka L., Kutner M., Schindler S., Kati V. Vegetation patterns along agricultural land abandonment in the Balkans, *Journal of Vegetation Science*, 2018, Vol.29 (5), pp. 877-886.