

ОЦЕНКА ЗАРАСТАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ ЯРАНСКОГО РАЙОНА КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

С.А. Лежнин

Поволжский государственный технологический университет

В статье представлены результаты исследования зарастания земель залежей Яранского района Кировской области древесно-кустарниковой растительностью, выполненного с использованием спутниковых снимков высокого разрешения Sentinel. Во многих регионах Российской Федерации, в том числе и в Кировской области, отсутствие актуальной картографической основы является лимитирующим фактором при решении задач мониторинга зарастающих земель. Применение современных технологий позволяет проводить мониторинг больших территорий заброшенных сельскохозяйственных угодий с минимальными финансовыми трудозатратами. Для определения площади зарастания залежей древесно-кустарниковыми породами были отобраны спутниковые снимки высокого разрешения Sentinel-2 за три периода: весенние снимки (начало мая 2019 г.), летние снимки (июль 2019 г.) и осенние снимки (сентябрь 2019 г.). Снимки были объединены в композиты с различным набором спектральных каналов (2 – синий канал; 3 – зеленый; 4 – красный; 8 – ближний инфракрасный) для выявления оптимального сочетания каналов и времени съемки. Тематическое картографирование молодняков древесных пород на заброшенных сельскохозяйственных землях Яранского района выявило значительные площади зарастания на 2019 год. Наилучшую точность классификации показала летняя карта в сочетании спектральных каналов 8-4-2. Доля лиственных молодняков на залежах составила 16,35 % от общей площади сельскохозяйственных земель района, тогда как площадь хвойных молодняков – 11,31 %. Общая площадь сельскохозяйственных земель Яранского района составила 192380,1 га, часть из которых (около 33 %) зарастает древесной растительностью. Проверка точности тематической карты лесовозобновления на исследуемых землях показала высокую точность классификации, которая составила 77 %.

Ключевые слова: залежи, спутниковые снимки, спектральный канал, тематические карты, оценка точности, Sentinel.

THE USE OF SATELLITE DATA IN THE ASSESSMENT OF REFORESTATION ON THE ABANDONED AGRICULTURAL LANDS IN YARANSK DISTRICT OF THE KIROV REGION

S.A. Lezhnin

Volga State University of Technology

The paper assesses the deposits on overgrown areas in Yaransk district of the Kirov region using modern Sentinel high-resolution satellite images. In many regions of the Russian Federation, including the Kirov region, the lack of up-to-date cartographic data acts as a constraint when monitoring the overgrown lands. The use of modern technologies is cost-effective and labour-saving particularly when monitoring large areas. In order to determine the agricultural areas overgrown with trees and shrubs, high-resolution satellite images Sentinel-2 referring to three time periods were selected: spring images (early May 2019), summer images (July 2019) and autumn images (September 2019). The images were combined into composites with a different set of spectral channels (2 - blue channel; 3 - green channel, 4 - red channel; 8 - near infrared) to identify the optimal combination of channels and shooting time. Thematic mapping of young tree species on abandoned agricultural lands in Yaransk district revealed significant areas of overgrowth in 2019. The best accuracy was achieved by the summer map with spectral channel combination 8-4-2. The share of deciduous young stands on deposits amounted to 16.35% of the total area of agricultural land in the district, while the area of coniferous young stands was 11.31%. The total area of agricultural land in Yaransk district was 192,380.1 hectares, partly (about 33%) overgrown with woody vegetation. The accuracy of thematic reforestation map developed using satellite data was compared against the field data and proved to be 77% accurate.

Key words: abandoned lands, satellite images, spectral channel, thematic maps, accuracy assessment, Sentinel.

Введение. В настоящее время система обеспечения федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления оперативной информацией о состоянии сельскохозяйственных земель во многих случаях не является достоверной и не отражает реальное состояние земель. Обширные территории, занимаемые сельскохозяйственными землями, сложно поддаются контролю из-за отсутствия цифровых карт сельскохозяйственной освоенности территорий, неразвитой сети пунктов оперативного мониторинга, наземных станций, в том числе и метеорологических, отсутствия авиационной поддержки ввиду высокой стоимости ее содержания. Выведение сельскохозяйственных земель из пользования является одним из доминирующих процессов изменения землепользования в Европе (Levers et al., 2018).

Согласно данным Росреестра, площадь залежных земель в Кировской области увеличилась с 42,5 тыс. га в 2009 году до 51,8 тыс. га в 2018 году, что составляет примерно 1 тыс. га в год (О состоянии окружающей среды...). На этих землях в силу различного рода природных процессов и хозяйственной деятельности человека происходит активное зарастание больших территорий земель сельхозназначения (земель запаса) древесно-кустарниковой растительностью. Во многих регионах Российской Федерации, в том числе и в Кировской области, отсутствие актуальной картографической основы не дает возможности решать задачи мониторинга таких участков. Поэтому применение современных технологий, позволяющих проводить мониторинг на больших территориях с минимальными финансовыми трудозатратами, является актуальной задачей.

Прекращение сельскохозяйственной деятельности может иметь как положительные, так и отрицательные результаты, а последствия различаются в зависимости от местоположения и масштаба (Milenov et al., 2014; Romo-Leon et al., 2014). Негативные последствия могут быть связаны с продовольственной безопасностью и местным жизнеобеспечением, тогда как положительные – связаны с эффектом растительного покрова, который повышает депонирование углерода за счёт увеличения древесной биомассы и создания новых мест обитания, подходящих для многих видов фауны (Levers et al., 2018).

Недавние исследования по этой теме в Европе показали, что образование залежей в основном происходит в менее продуктивных, отдалённых и горных участках, а также районах с эрозией почвы или иными неблагоприятными условиями (Song, 2019; Kolečka et al., 2016). Другими факторами этих процессов являются: миграция населения из сельской местности в города, особенности владения землями и налоговые режимы (Stefanski et al., 2014). Тем не менее, Gradinaru и др. (2015) указывают на сохранение сельскохозяйственных земель вокруг городов, что обусловлено ростом цен на землю и фрагментацией сельскохозяйственных угодий.

Согласно некоторым исследованиям, естественное зарастание может зависеть от площади бывшего поля и последующего использования пашни. При размере участка от 2 до 10 га густота деревьев составляет 5-8 тыс. на 1 га. При этом формируются в основном сосновые насаждения с примесью берёзы и иногда смешанные с преобладанием берёзы. При размере участков 20-25 га количество деревьев снижается примерно до 1,5-2 тыс. на 1 га. Если зарастание пашни происходит без использования ее как пастбища или сенокоса, то на ней успешно начинают расти сосновые насаждения. Если же пашня выводится из оборота через последующее использование ее как сенокос или пастбище, то она заселяется лиственными породами: в основном берёзой или осинкой (Беляев и др., 2013; Лежнин, 2019).

Берёза является одной из наиболее активных пионерных и почвоулучшающих пород, она не уступает по продуктивности хвойным породам, а во многих случаях и превосходит их (Балашкевич, 2006; Гульбе, 2006; Москаленко, Бобровский, 2014). Активное зарастание за-

лежей берёзой также подтверждено исследованиями на территории Республики Марий Эл (Курбанов и др., 2010; Курбанов и др., 2009; Лежнин, Музурова, 2019).

Несмотря на то, что мониторинг использования земель является приоритетным для многих национальных программ мониторинга сельского хозяйства (Alcantara et al., 2012), до настоящего времени отсутствуют согласованные карты земель запаса и надежные подходы для создания таких карт на основе спутниковых данных.

Картографирование заброшенных земель традиционными методами (например, полевые работы, оцифровка аэрофотоснимков) может занимать много времени, быть дорогостоящим и требовать значительной рабочей силы. В этом контексте спутниковые снимки оказываются более эффективным источником данных. Результаты многих исследований показали, что зарастающие залежи могут быть нанесены на карту с помощью данных ДЗЗ с точностью выше 80 %. Более высокая точность достигается, когда в модели включены сцены, охватывающие начало вегетационного периода (Grădinaru et al., 2017).

Yin et al. (2018) и Prishchepov et al. (2012), которые картографировали заброшенные сельхозугодья по снимкам Landsat, достигли относительно высокой точности классификации: 91 и 80 % соответственно. Однако распознавание зарастания на залежах – более трудоёмкий процесс по сравнению с другими видами землепользования, например, наличие рядом садов, лесопитомников или парков может негативно повлиять на результаты (Wittke et al., 2019; Стыценко, 2017).

В апреле 2018 г. в Минсельхозе России была введена в эксплуатацию Единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий (ЕФИС ЗСН), одной из частей которой стал блок работы с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (Спутниковый мониторинг..., 2019). Существенная роль при создании ЕФИС ЗСН отведена использованию технологий спутникового мониторинга. Так, одной из составных частей ЕФИС ЗСН стал специализированный блок работы с данными ДЗЗ, получивший название «Аналитик ДЗЗ ЕФИС ЗСН» (Буланов и др., 2018; Козубенко и др., 2018). Блок разработан на базе сервисов спутникового мониторинга растительности семейства ВЕГА (Лупян и др., 2011), входящего в состав Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Основной задачей реализованных в блоке ДЗЗ функций является оперативное получение объективной информации о состоянии и использовании сельскохозяйственных земель и посевов, а также верификация данных, предоставляемых подведомственными Минсельхозу России учреждениями.

Целью работы являлась оценка древесно-кустарниковых пород, сформировавшихся на залежах Яранского района Кировской области с помощью спутниковых снимков Sentinel.

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

- проведены полевые исследования с закладками тестовых участков (ТУ) на исследуемой территории;
- созданы тематические карты зарастающих залежей;
- проведена оценка площадей молодняков, произрастающих на территории залежей.

Методика исследования включает в себя несколько этапов: проведение полевых работ, подбор спутниковых снимков на территорию исследования, проведение тематического картирования и оценку точности полученных карт.

Расположение ТУ на исследуемой территории было выбрано в результате анализа материалов лесной инвентаризации и кадастровых карт, изучения спутниковых снимков и материалов аэрофотосъемки. Кроме того, использовались картографические интернет-ресурсы (Яндекс и Google карты, Bing maps). Предварительный отбор местности для закладки пробных площадок для оценки зарастания проводился на бывших сельскохозяйственных землях, которые расположены на большом расстоянии от населенных пунктов и не были в пользовании в последние несколько лет или десятилетий (рис. 1).



Рис. 1. Распределение тестовых участков на территории исследования

Координаты тестовых участков фиксировались с помощью GPS-приемника, разрабатывался абрис их расположения относительно ближайшего лесного насаждения или других заметных объектов (дороги, линии электропередач, постройки и т.п.).

Для определения площади зарастания полей древесно-кустарниковыми породами были отобраны спутниковые снимки высокого разрешения Sentinel-2 за три временных периода: весенние снимки (начало мая 2019 г.), летние снимки (июль 2019 г.) и осенние снимки (сентябрь 2019 г.). Все подобранные снимки прошли процедуру атмосферной и геометрической коррекции.

В данной работе использовались композиты с различным набором спектральных каналов (2 – синий канал; 3 – зеленый; 4 – красный; 8 – ближний инфракрасный) для выявления оптимального сочетания каналов и времени съёмки (табл. 1).

Таблица 1

Снимки Sentinel-2, использованные в исследовании

Условное обозначение снимка	Дата съемки	Сочетание спектральных каналов
Spring_432	Май 2019	4-3-2
Spring_842		8-4-2
Spring_843		8-4-3
Summer_432	Июль 2019	4-3-2
Summer_842		8-4-2
Summer_843		8-4-3
Autumn_432	Сентябрь 2019	4-3-2
Autumn_842		8-4-2
Autumn_843		8-4-3

Результаты исследования. Подобранные снимки были синтезированы в трёх различных сочетаниях спектральных каналов (4-3-2, 8-4-2, 8-4-3) и выделены в виде маски по границе Яранского района (рис. 2).

Рис. 2. Комбинирование спектральных каналов сцен весенних снимков Sentinel-2 на территорию Яранского района: а) 4-3-2, б) 8-4-2, в) 8-4-3

До начала работ со снимками из территории исследования были исключены водные объекты, земли населенных пунктов и лесного фонда. После первоначальной классификации были получены карты Яранского района, состоящие из 25 тематических классов. Подбранное количество классов является оптимальным для максимально достоверного разделения классов наземного покрова на лесовозобновление и собственно сельскохозяйственные земли. В последующем все классы тематической карты распределялись на 4 категории: лесные участки, не входящие в лесной фонд; обрабатываемые сельскохозяйственные земли; лиственное лесовозобновление и хвойное лесовозобновление. В случае если какой-либо класс не мог быть достоверно отнесён к одной из категорий, то для него создавалась отдельная векторная маска, внутри которой осуществлялась дополнительная классификация с выделением уже 14 классов. Итогом всего процесса тематического картографирования стали карты лесовозобновления на заброшенных сельскохозяйственных землях Яранского района Кировской области за три временных периода и в трех сочетаниях спектральных каналов (рис. 3).

Как видно из рисунка 3, основная часть лесовозобновления на залежных землях приходится на центральную и юго-восточную часть Яранского района. Этот факт можно объяснить большим количеством взрослых древостоев на этой территории, которые ранее входили в сельские лесничества, но в данный момент не входят в состав лесного фонда. Обсеменение заброшенных полей обычно происходит вдоль границы лесных насаждений, тогда как в северной и северо-западной частях района таких лесных участков меньше, поэтому обсеменение этих заброшенных земель происходит в меньшей степени.

Итоговое распределение площадей полученных тематических классов по временным периодам представлено в таблице 2.

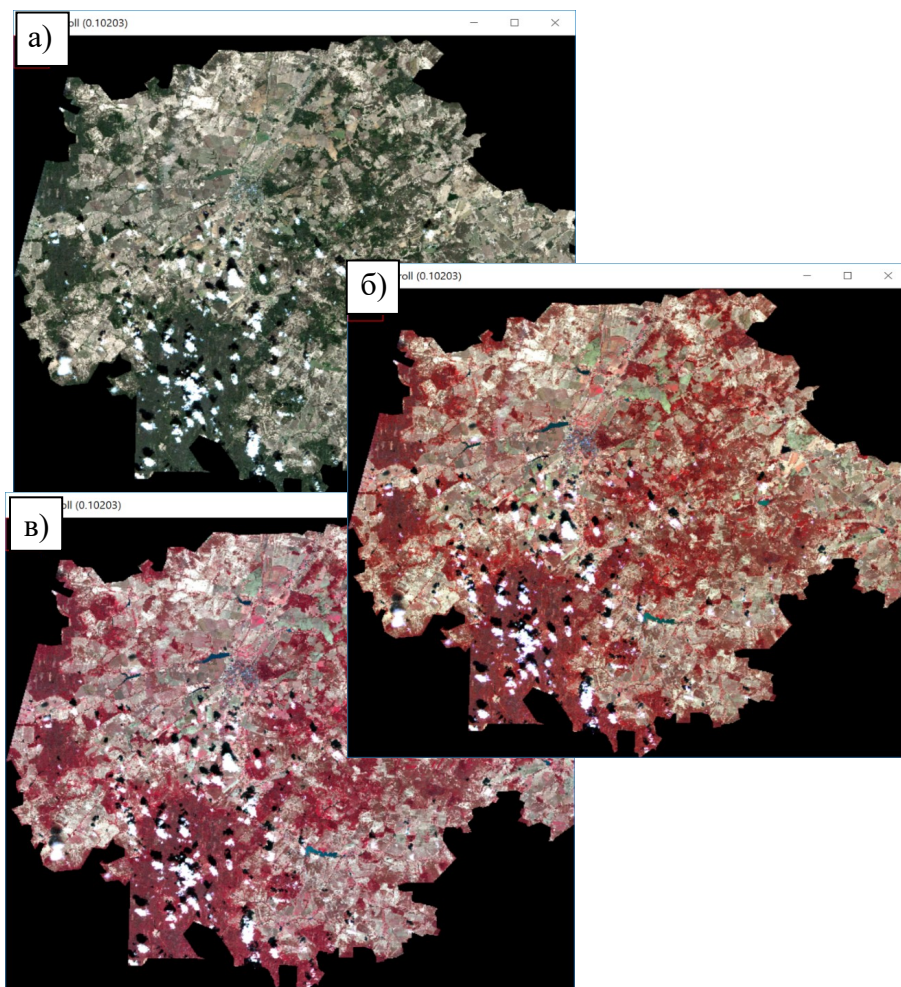


Рис. 2. Комбинирование спектральных каналов сцен весенних снимков Sentinel-2 на территорию Яранского района: а) 4-3-2, б) 8-4-2, в) 8-4-3

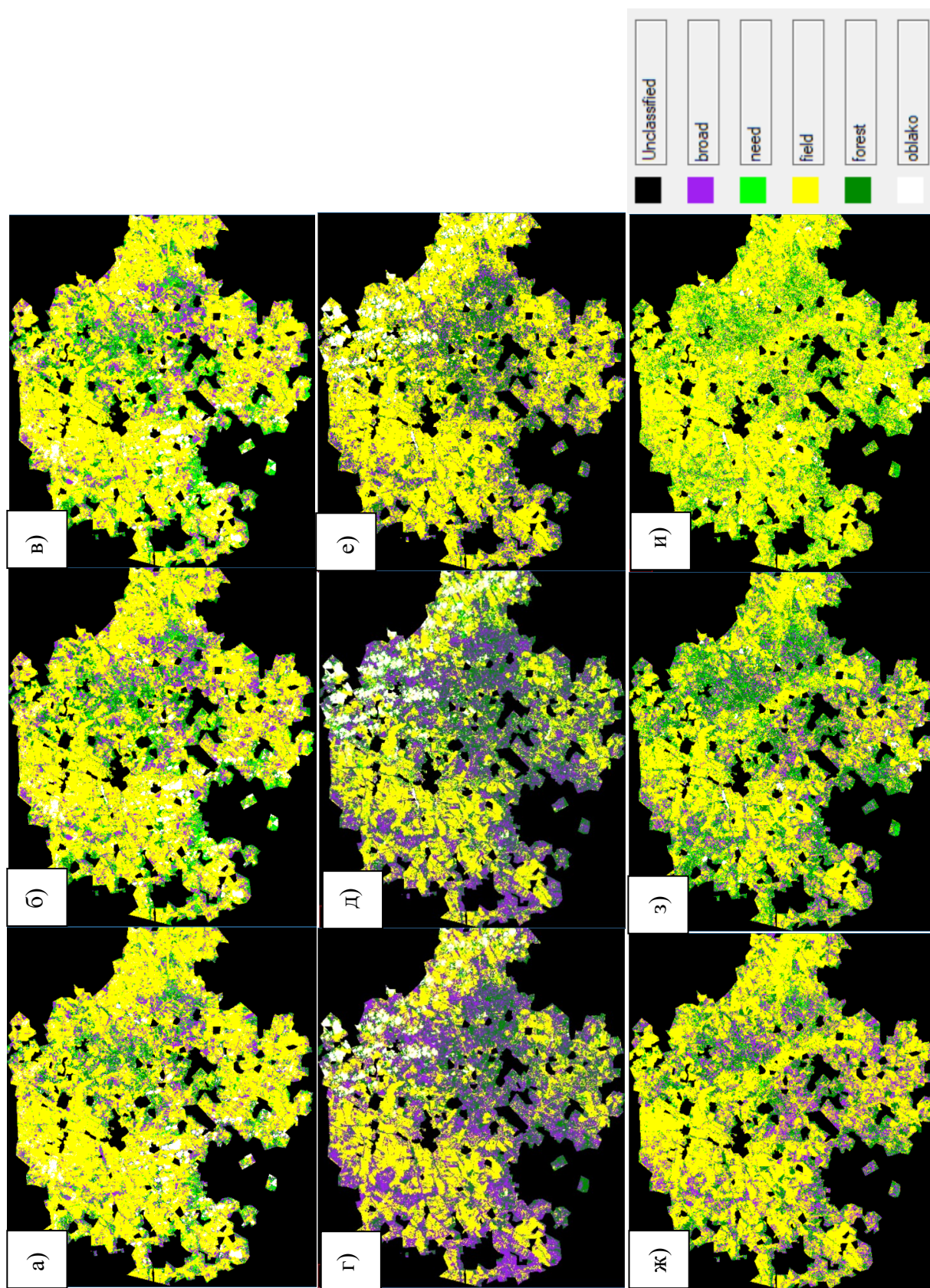


Рис. 3. Итоговый набор тематических карт: а) Spring_432, б) Spring_842, в) Spring_843, г) Summer_432, д) Summer_842, е) Summer_843, ж) Autumn_432, з) Autumn_842, и) Autumn_843

Таблица 2

Распределение площадей по тематическим классам

№	Класс карты	Количество пикселей, шт	Площадь класса, га	% от общей площади
Spring_432				
1	Лиственные молодняки (broad)	2411800	24118	12,54
2	Хвойные молодняки (need)	1550394	15503,94	8,06
3	Обрабатываемые земли (field)	12758866	127588,7	66,32
4	Лес (forest)	1301746	13017,46	6,77
5	Облака (Oblako)	1215197	12151,97	6,32
Итого:		19238003	192380	100,00
Spring_842				
1	Лиственные молодняки (broad)	2707189	27071,89	14,07
2	Хвойные молодняки (need)	1839095	18390,95	9,56
3	Обрабатываемые земли (field)	11781356	117813,6	61,24
4	Лес (forest)	1786453	17864,53	9,29
5	Облака (Oblako)	1123910	11239,1	5,84
Итого:		19238003	192380	100,00
Spring_843				
1	Лиственные молодняки(broad)	2372234	23722,34	12,33
2	Хвойные молодняки (need)	1970523	19705,23	10,24
3	Обрабатываемые земли (field)	12194836	121948,4	63,39
4	Лес (forest)	1503384	15033,84	7,81
5	Облака (Oblako)	1197026	11970,26	6,22
Итого:		19238003	192380	100,00
Summer_432				
1	Лиственные молодняки (broad)	6457054	64570,54	33,56
2	Хвойные молодняки (need)	631212	6312,12	3,28
3	Обрабатываемые земли (field)	7279557	72795,57	37,84
4	Лес (forest)	3908257	39082,57	20,32
5	Облака (Oblako)	961933	9619,33	5,00
Итого:		19238013	192380,1	100
Summer_842				
1	Лиственные молодняки (broad)	5272278	52722,78	27,41
2	Хвойные молодняки (need)	1132122	11321,22	5,88
3	Обрабатываемые земли (field)	6835474	68354,74	35,53
4	Лес (forest)	4565157	45651,57	23,73
5	Облака (Oblako)	1432982	14329,82	7,45
Итого:		19238013	192380,1	100,00
Summer_843				
1	Лиственные молодняки (broad)	2942140	29421,4	15,29
2	Хвойные молодняки (need)	126373	1263,73	0,66
3	Обрабатываемые земли (field)	11105271	111052,7	57,73
4	Лес (forest)	4021329	40213,29	20,90
5	Облака (Oblako)	1042900	10429	5,42
Итого:		19238013	192380,1	100,00

Autumm_432				
1	Лиственные молодняки (broad)	3848276	38482,76	20,00
2	Хвойные молодняки (need)	1360792	13607,92	7,07
3	Обрабатываемые земли (field)	11369839	113698,4	59,10
4	Лес (forest)	2659106	26591,06	13,82
5	Облака (Oblako)	0	0	0
Итого:		19238013	192380,1	100,00
Autumm_842				
1	Лиственные молодняки (broad)	3144539	31445,39	16,35
2	Хвойные молодняки (need)	2175072	21750,72	11,31
3	Обрабатываемые земли (field)	9397237	93972,37	48,85
4	Лес (forest)	4060229	40602,29	21,11
5	Облака (Oblako)	460936	4609,36	2,40
Итого:		19238013	192380,1	100
Autumm_843				
1	Лиственные молодняки (broad)	922521	9225,21	4,80
2	Хвойные молодняки (need)	2090383	20903,83	10,87
3	Обрабатываемые земли (field)	13373111	133731,1	69,51
4	Лес (forest)	2381236	23812,36	12,38
5	Облака (Oblako)	470762	4707,62	2,45
Итого:		19238013	192380,1	100

Как видно из таблицы 2, разброс площадей классов замечен даже внутри одного временного периода для разных сочетаний тематических классов. Это объяснимо тем, что разные спектральные каналы по-разному отображают спектральные характеристики растительности. В некоторых случаях наблюдается значительное перемешивание молодняков с густой травянистой растительностью. В целом для весеннего периода площадь обрабатываемых земель колеблется от 61 до 66 % от общей площади сцены. Доля лесных насаждений занимает от 6 до 9 %. Доля лиственных молодняков меняется от 12 до 14 %, а хвойных – от 8 до 10 %.

Для летнего периода также характерно преобладание обрабатываемых земель, доля которых колеблется от 37 до 57 %. Леса занимают соответственно от 20 до 23 %. Доля лиственных молодняков варьирует от 15 до 27 %, тогда как доля хвойных молодняков – от 0,66 до 3 %.

Данные таблицы 2 показывают также, что на летних снимках идёт значительное перемешивание тематических классов, в особенности лиственных молодняков и сельскохозяйственных земель. Это объясняется тем, что во время активной вегетации спектральные сигналы травянистой растительности и лиственных молодняков достаточно близки по значениям.

Для осеннего периода доля обрабатываемых земель варьирует от 48 до 69 %, доля лесных насаждений – от 12 до 21 %, доля лиственных молодняков – от 4 до 20 %, а доля хвойных молодняков – от 7 до 11 %.

Для **оценки точности** полученных тематических карт было использовано 177 тестовых участков. Для определения точности соответствующего класса количество классифицированных пикселей было отнесено на общее количество пикселей согласно тестовым данным.

Полученные значения показывают, насколько вероятно, что данный класс совпадает с результатами классификации (табл. 3).

Таблица 3

Точность полученных тематических карт

Тематическая карта	Общая точность	Коэффициент Каппа	Достоверность карты
Spring_432	0,63	0,41	Умеренная
Spring_842	0,65	0,46	Умеренная
Spring_843	0,62	0,38	Слабая
Summer_432	0,65	0,47	Умеренная
Summer_842	0,77	0,69	Значительная
Summer_843	0,74	0,64	Значительная
Autumm_432	0,67	0,58	Умеренная
Autumm_842	0,76	0,67	Значительная
Autumm_843	0,70	0,61	Значительная

Как видно из таблицы 4, наилучшую точность показала летняя карта в сочетании спектральных каналов 8-4-2 (рис. 4).

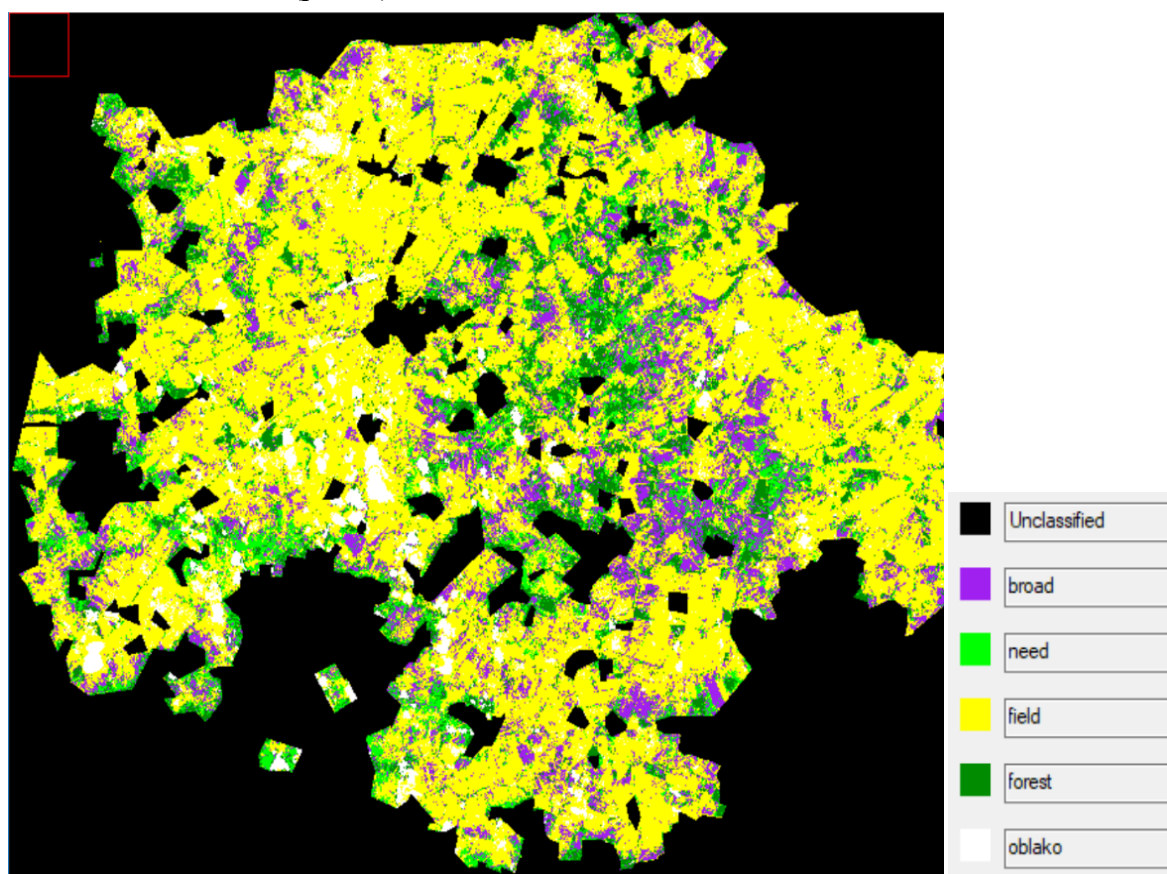


Рис. 4. Тематическая карта Summer_842

Общая точность этой карты составила 77 %, что является довольно высоким результатом, коэффициент Каппа (0,69) также показал значительную согласованность карты с натурными данными. Такие показатели точности объясняются тем, что сканер спутника Sentinel-2 снимает местность в довольно узком диапазоне видимого и ближнего инфракрасного спектра, в которых спектральные сигнатуры лиственных молодняков и густой травянистой растительности имеют близкие значения, что приводит к высокому перемешиванию

этих классов. В то же время тематические классы «Лес» и «Хвойные молодняки» хорошо выделяются из окружающих объектов наземного покрова.

Вместе с тем, если не проводить дифференциацию тематических классов по древесным породам, то общая точность тематической карты составит 85 %, а коэффициент Каппа – 0,78, что повышает точность оценки.

Выводы. Тематическое картографирование молодняков древесных пород на заброшенных сельскохозяйственных землях Яранского района Кировской области позволило определить значительные площади их зарастания древесно-кустарниковой растительностью в 2019 году. Общая площадь сельскохозяйственных земель Яранского района составила 192380,1 га, значительная часть которых (около 33 %) зарастает древесной растительностью.

Проверка тематической карты лесовозобновления показала её высокую точность, которая составила 77 %.

Созданная тематическая карта лесовозобновления на залежах Яранского района Кировской области за 2019 год может быть использована для дальнейшего мониторинга процесса зарастания. Её применение будет способствовать оперативному мониторингу земель залежей. Атрибутивные данные классов тематической карты предоставляют возможность для комплексного анализа процессов зарастания в сочетании с экологическими, социальными или экономическими факторами, что должно способствовать более точному прогнозированию ситуации в сельском хозяйстве Кировской области.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-55-80010/19

The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Библиографический список

1. Балашкевич Ю.А. Зарастание бывших сельскохозяйственных земель древесной растительностью // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006. №13. С 4-6.
2. Беляев В. В., Кононов, О. Д., Карабан, А. А., Старицын, В. В. Состояние древесной растительности на землях, выбывших из хозяйственного оборота в Архангельской области // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. 2013. Вып. 2. С. 5-11.
3. Буланов К.А., Денисов П.В., Косогор С.Н., Вандышева Н.М., Бабак В.А., Трошко К.А., Мартыанов А.С., Середа И.И., Лупян Е.А., Толпин В.А., Бурцев М.А. Модуль работы с данными дистанционного зондирования Земли в Единой федеральной информационной системе о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) // 16-я Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Москва, 12–16 нояб. 2018): сб. тез. Москва: ИКИ РАН, 2018. С. 3
4. Гульбе А.Я. Динамика фитомассы и годичной продукции молодняка березы на залежи в южнотаежной подзоне (Ярославская область) // Вестник Оренбургского гос. ун-та. Приложение «Биоразнообразие и биоресурсы». 2006. № 4. С. 34-37.
5. Козубенко И.С., Бегляров Р.Р., Вандышева Н.М., Бабак В.А., Денисов П.В., Трошко К.А. Использование материалов дистанционного зондирования Земли в Единой федеральной информационной системе о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) // Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве: материалы 2-й Всерос. науч. конф. с международным участием. Санкт-Петербург, 26–28 сент. 2018. Санкт-Петербург: ФГБНУ АФИ, 2018. С. 19–25.
6. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А., Незамаев С.А., Александрова Т.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам // Вестник МарГТУ. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет. 2010. № 2(9). 2010. С. 14-20.
7. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Мошкина Л.С., Губаев А.В., Лежнин С.А., Незамаев С.А. Оценка фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья: пространственное распределение и динамика накопления // Международное сотрудничество в лесном секторе: баланс образования, науки и производства: материалы международной конференции. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет. 2009. С. 93-97.

8. Лежнин С.А., Музурова Р.Л. Оценка вторичной сукцессии на залежах Республики Марий Эл // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международной конференции. Йошкар-Ола: ПГТУ. 2019. С. 126-135.
9. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 1. С. 190–198.
10. Москаленко С.В., Бобровский М.В. Возобновление деревьев на бывших пахотных землях в заповеднике «Калужские засеки» // Бюллетень Брянского отделения РБО. 2014. № 1(3). С. 48–54.
11. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2019 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kirovreg.ru/econom/ecology/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%202019.pdf> – 13.11.2020.
12. Спутниковый мониторинг посевов озимых под урожай 2019 г. в Единой федеральной информационной системе о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН). – URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/dit/industry-information/sputnikovyy-monitoring-posevov-ozimyykh-pod-urozhay-2019-g-v-edinoy-federalnoy-informatsionnoy-sisteme-o-zemlyakh-selskokh/>. – 28.11.2020
13. Стыщенко Е. А. Возможности распознавания сельскохозяйственных угодий с использованием методики совместной автоматизированной обработки разносезонных многозональных космических изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 5. С. 172–183.
14. Alcantara C., Kuemmerle T., Prishchepov A. V., Radeloff V. C. Mapping abandoned agriculture with multi-temporal MODIS satellite data // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 124. P. 334-347.
15. Grădinaru S. R., Kienast F., Psomas A. Using multi-seasonal Landsat imagery for rapid identification of abandoned land in areas affected by urban sprawl // Ecological Indicators. 2019. Vol. 96. Pt. 2. P. 79-86.
16. Yin H., Prishchepov A.V., Kuemmerle T., Bleyhl B. et al. Mapping agricultural land abandonment from spatial and temporal segmentation of Landsat time series // Remote Sensing of Environment. 2018. Vol. 210. P. 12-24.
17. Prishchepov A. V., Radeloff V. C., Dubinin M., Alcantara C. The effect of Landsat ETM/ETM + image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 126. P. 195-209.
18. Koleccka N., Kozak J., Kaim D., Dobosz M. et al. Mapping secondary forest succession on abandoned agricultural land in the Polish Carpathians // Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016. Vol. XLI-B8. P. 931-935.
19. Levers C., Schneider M., Prishchepov A. V., Estel S. Spatial variation in determinants of agricultural land abandonment in Europe // Science of The Total Environment. 2018. Vol. 644. P. 95-111.
20. Milenov P., Vassilev V., Vassileva A., Radkov R. et al. Monitoring of the risk of farmland abandonment as an efficient tool to assess the environmental and socio-economic impact of the Common Agriculture Policy // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. Vol.32. P. 218-227.
21. Romo-Leon J. R., van Leeuwen W. J. D., Castellanos-Villegas A. Using remote sensing tools to assess land use transitions in unsustainable arid agro-ecosystems // Journal of Arid Environments. 2014. Vol. 106. P. 27-35.
22. Stefanski J., Chaskovskyy O., Waske B. Mapping and monitoring of land use changes in post-Soviet western Ukraine using remote sensing data // Applied Geography. 2014. Vol.55. P. 155-164.
23. Song W. Mapping Cropland Abandonment in Mountainous Areas Using an Annual Land-Use Trajectory Approach // Sustainability. 2019. Vol. 11. P. 1-24.
24. Wittke S., Xiaowei Y., Karjalainen M., Hyypä J., Puttonen E. Comparison of two-dimensional multitemporal Sentinel-2 data with three-dimensional remote sensing data sources for forest inventory parameter estimation over a boreal forest // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2019. Vol. 76. P. 167-178.

References

1. Balashkevich Yu.A. Zarastanie byvshikh sel'skokhozyaistvennykh zemel' drevesnoi rastitel'nost'y [Overgrowth of former agricultural lands with woody vegetation]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2006. №13. P. 4-6.
2. Belyaev V. V., Kononov, O. D., Karaban, A. A., Staritsyn, V. V. Sostoyanie drevesnoi rastitel'nosti na zemlyakh, vybyvshikh iz khozyaistvennogo oborota v Arkhangel'skoi oblasti [The state of woody vegetation on lands abandoned from economic circulation in the Arkhangelsk region]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta*. 2013. Vyp. 2. P. 5-11.
3. Bulanov K.A., Denisov P.V., Kosogor S.N., Vandysheva N.M., Babak V.A., Troshko K.A., Mart'yanov A.S., Sereda I.I., Lupyan E.A., Tolpin V.A., Burtsev M.A. Modul' raboty s dannymi distantsionnogo zondirovaniya Zemli v Edinoi federal'noi informatsionnoi sisteme o zemlyakh sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya (EFIS ZSN) [Module for working with Earth remote sensing data in the Unified Federal Information System on Agricultural Lands (EFIS ZSN)]. *16-ya Vseros. otkrytaya konf. «Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa» (Moskva, 12–16 noyab. 2018)*. Moscow: IKI RAN, 2018. P. 3
4. Gul'be A.Ya. Dinamika fitomassy i godichnoi produktsii molodnyaka berezy na zalezhi v yuzhnotaiezhnoi podzone (Yaroslavskaya oblast') [Dynamics of phytomass and annual production of young birch on fallows in the southern taiga subzone (Yaroslavl region)]. *Vestnik Orenburgskogo gos. un-ta. Prilozhenie «Bioraznoobrazie i bioresursy»*. 2006. № 4. P. 34-37.
5. Kozubenko I.S., Beglyarov R.R., Vandysheva N.M., Babak V.A., Denisov P.V., Troshko K.A. Ispol'zovanie materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli v Edinoi federal'noi informatsionnoi sisteme o zemlyakh sel'skokho-

- zyaistvennogo naznacheniya (EFIS ZSN) [Use of Earth Remote Sensing Materials in the Unified Federal Information System on Agricultural Lands (EFIS ZSN)]. *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve*. Sankt-Peterburg: FGBNU AFI, **2018**. P. 19–25.
6. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Nezamaev S.A., Aleksandrova T.A. Otsenka zarastaniya zemel' zapasa Respubliki Marii El lesnoi rastitel'nost'yu po sputnikovym snimkam [Assessment of overgrowth of the reserve lands of the Republic of Mari El with forest vegetation based on satellite images]. *Vestnik MarGTU. – Ioshkar-Ola: Mariiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet*. **2010**. № 2(9). 2010. P. 14–20.
 7. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Moshkina L.S., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Nezamaev S.A. Otsenka fitomassy bereznyakov na byvshikh sel'skokhozyaistvennykh zemlyakh Mariiskogo Zavolzh'ya: prostranstvennoe raspredelenie i dinamika nakopleniya [Assessment of the phytomass of birch forests on the former agricultural lands of the Mari Trans-Volga region: spatial distribution and dynamics of accumulation]. *Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo v lesnom sektore: balans obrazovaniya, nauki i proizvodstva*. Ioshkar-Ola: Mariiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet. **2009**. P. 93–97.
 8. Lezhnin S.A., Muzurova R.L. Otsenka vtorichnoi suktsessii na zalezkhakh Respubliki Marii El [Estimation of the secondary succession in the deposits of the Republic of Mari El]. *Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyi monitoring*. Ioshkar-Ola: PGTU. **2019**. P. 126–135.
 9. Lupyan E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. Sputnikovyi servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti («VEGA») [Satellite service for monitoring the state of vegetation ("VEGA")]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. **2011**. T. 8, № 1. P. 190–198.
 10. Moskalenko S.V., Bobrovskii M.V. Vozobnovlenie derev'ev na byvshikh pakhotnykh zemlyakh v zapovednike «Kaluzhskie zaseki» [Renewal of trees on the former arable land in the Kaluzhskie Zaseki Nature Reserve]. *Byulleten' Bryanskogo otdeleniya RBO*. **2014**. № 1(3). P. 48–54.
 11. O sostoyanii okruzhayushchei sredy Kirovskoi oblasti v 2019 godu [On the state of the environment of the Kirov region in 2019]. URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/ecology/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%202019.pdf> – 13.11.2020.
 12. Sputnikovyi monitoring posevov ozimnykh pod urozhai 2019 g. v Edinoi federal'noi informatsionnoi sisteme o zemlyakh sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya (EFIS ZSN) [Satellite monitoring of winter crops for the 2019 harvest in the Unified Federal Information System on Agricultural Lands (EFIS ZSN)]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/dit/industry-information/sputnikovyy-monitoring-posevov-ozimnykh-pod-urozhay-2019-g-v-edinoy-federalnoy-informatsionnoy-sisteme-o-zemlyakh-selskokh/>. – 28.11.2020
 13. Stytsenko E. A. Vozmozhnosti raspoznavaniya sel'skokhozyaistvennykh ugodii s ispol'zovaniem metodiki sovmestnoi avtomatizirovannoi obrabotki raznosezonnykh mnogoazonal'nykh kosmicheskikh izobrazhenii [Possibilities of recognition of agricultural land using the method of joint automated processing of multi-season multi-zone satellite images]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. **2017**. T. 14, № 5. P. 172–183.
 14. Alcantara C., Kuemmerle T., Prishchepov A. V., Radeloff V. C. Mapping abandoned agriculture with multi-temporal MODIS satellite data. *Remote Sensing of Environment*. **2012**. Vol. 124. P. 334–347.
 15. Grădinaru S. R., Kienast F., Psomas A. Using multi-seasonal Landsat imagery for rapid identification of abandoned land in areas affected by urban sprawl. *Ecological Indicators*. **2019**. Vol. 96. Pt. 2. P. 79–86.
 16. Yin H., Prishchepov A.V., Kuemmerle T., Bleyhl B. et al. Mapping agricultural land abandonment from spatial and temporal segmentation of Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*. **2018**. Vol. 210. P. 12–24.
 17. Prishchepov A. V., Radeloff V. C., Dubinin M., Alcantara C. The effect of Landsat ETM/ETM + image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe. *Remote Sensing of Environment*. **2012**. Vol. 126. P. 195–209.
 18. Kolečka N., Kozak J., Kaim D., Dobosz M. et al. Mapping secondary forest succession on abandoned agricultural land in the Polish Carpathians. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. **2016**. Vol. XLI-B8. P. 931–935.
 19. Levers C., Schneider M., Prishchepov A. V., Estel S. Spatial variation in determinants of agricultural land abandonment in Europe. *Science of The Total Environment*. **2018**. Vol. 644. P. 95–111.
 20. Milenov P., Vassilev V., Vassileva A., Radkov R. et al. Monitoring of the risk of farmland abandonment as an efficient tool to assess the environmental and socio-economic impact of the Common Agriculture Policy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. **2014**. Vol.32. P. 218–227.
 21. Romo-Leon J. R., van Leeuwen W. J. D., Castellanos-Villegas A. Using remote sensing tools to assess land use transitions in unsustainable arid agro-ecosystems. *Journal of Arid Environments*. **2014**. Vol. 106. P. 27–35.
 22. Stefanski J., Chaskovskyy O., Waske B. Mapping and monitoring of land use changes in post-Soviet western Ukraine using remote sensing data. *Applied Geography*. **2014**. Vol.55. P. 155–164.
 23. Song W. Mapping Cropland Abandonment in Mountainous Areas Using an Annual Land-Use Trajectory Approach. *Sustainability*. **2019**. Vol. 11. P. 1–24.
 24. Wittke S., Xiaowei Y., Karjalainen M., Hyypä J., Puttonen E. Comparison of two-dimensional multitemporal Sentinel-2 data with three-dimensional remote sensing data sources for forest inventory parameter estimation over a boreal forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. **2019**. Vol. 76. P. 167–178.