

ОЦЕНКА ЗАРАСТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ДРЕВЕСНЫМИ ПОРОДАМИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ LANDSAT НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА БАКАЛИНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

М.В. Мартынова, Р.Р. Султанова, А.К. Габделхаков, З.З. Рахматуллин, Г.Е. Одинцов
Башкирский государственный аграрный университет

Выполнена оценка зарастания земель, вышедших из сельскохозяйственного пользования, древесной растительностью, определены её состав и густота на основе полевых исследований, а также с использованием разновременных снимков Landsat 5,8 путём расчёта вегетационного индекса ARVI. Объект исследования – земельный участок, расположенный в с. Нагайбаково Бакалинского района Республики Башкортостан. При помощи дискретной шкалы значений индекса ARVI травяной покров и древесная растительность были отделены от участков с открытой почвой. Комбинации спектральных каналов 5, 4, 3 для снимков со спутника Landsat 8 и каналов 4, 3, 2 для снимков со спутника Landsat 5 позволяют определить наличие древесной растительности на землях сельскохозяйственного назначения. На участке зарастания присутствует густая травянистая растительность с индексом ARVI от 0,2 до 0,3. На снимках 2001 и 2019 гг. проявляются участки с присутствием деревьев, индекс ARVI которых находится в диапазоне 0,3-0,9. Открытые почвы с индексом ARVI от 0 до 0,2 на снимках Landsat имеют тёмно-коричневую окраску. Установлено, что площадь зарастания древесными породами сельскохозяйственного участка составляет 2,5 га. Видовой состав и густота изучаемого насаждения определены комбинацией глазомерного и инструментального методов лесной таксации. Использование осенних снимков (конец сентября - начало октября) является наиболее удачным решением для определения породного состава древесной растительности. Используя дискретную шкалу и полученный индекс ARVI, находящийся в диапазоне 0,3-0,9 для хвойных, получаем возможность подтвердить данное утверждение.

Ключевые слова: лес, сельскохозяйственные земли, древесная растительность, Landsat, индекс ARVI, ДЗЗ, ArcGIS

ASSESSMENT OF REFORESTATION ON ABANDONED AGRICULTURAL LANDS USING LANDSAT DATA ON THE EXAMPLE OF A SITE IN THE BAKALINSKY REGION OF THE REPUBLIC BASHKORTOSTAN

M.V. Martynova, R.R. Sultanova, A.K. Gabdelkhakov, Z.Z. Rakhmatullin, G.E. Odintsov
Bashkir State Agrarian University

The paper assesses the lands excluded from agricultural use in terms of woody vegetation, composition and density determined based on field studies, as well as using Landsat 5,8 multi-time images by calculating the vegetation index ARVI. The area under study is located near the village of Nagaybakovo in the Bakalinsky district of the Republic of Bashkortostan. Grass cover and woody vegetation were differentiated from open soil areas using a discrete scale of ARVI values. The combinations of spectral channels 5, 4, 3 for Landsat 8 satellite images and channels 4, 3, 2 for Landsat 5 satellite images make it possible to detect woody vegetation on agricultural lands. The overgrown area has dense grassy vegetation with an ARVI index from 0.2 to 0.3. In the images obtained in 2001 and 2019 there are spots with the presence of trees, and the ARVI index ranges between 0.3 and 0.9. Open soil area with an ARVI index ranging from 0 to 0.2 in Landsat images is characterized by dark brown color. In the course of research it has been found out that the agricultural area overgrown with tree species accounts to 2.5 hectares. The species composition and the density of the area under study are determined by a combination of visual and instrumental methods of forest inventory. Using the autumn images (late September - early October) is best for determining species composition of woody vegetation. Using a discrete scale and the resulting ARVI index ranging from 0.3 to 0.9 for conifers proves this assumption.

Keywords: forest, agricultural land, woody vegetation, Landsat, ARVI index, remote sensing, ArcGIS

Введение. Для второй половины XX в. было характерно то, что почти в 80 странах мира наблюдалось стабильное уменьшение земель сельскохозяйственного назначения. Почти за сорок лет из оборота было выведено 223 млн га сельскохозяйственных угодий. Ввиду

социально-экономических преобразований, которые пришлось на период 1990-х годов, Россия также потеряла около 58,3 млн га сельскохозяйственных угодий. Также существенные потери сельскохозяйственных земель наблюдались в Австралии (40,8 млн га), США (35,6 млн га) и Западной Европе (25,1 млн га) (Агроэкологическое состояние..., 2008).

Если же обратиться к современной истории, то в период с 2010 по 2018 г. общая площадь земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации сократилась на 17,5 млн га. Согласно данным Росреестра, только в 2018 году органами государственной власти Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и органами местного самоуправления из земель сельскохозяйственного назначения 770,3 тыс. га, в том числе 647,8 тыс. га было переведено в земли лесного фонда (Доклад о состоянии и использовании земель..., 2020).

Вопросы перевода земель сельскохозяйственного назначения под другие виды землепользования также находят свое отражение в зарубежных исследованиях. В регионе Трентино, который расположен в восточной части Альп на территории Италии, такое исследование было проведено в два этапа с использованием ортофотоснимков 1973 и 1999 годов (De Natale et al., 2007). На их основе была проведена оценка площади новых лесных массивов, проанализированы их экологические и ландшафтные особенности. Во Франции доминирующей древесной породой, зарастающей на землях сельскохозяйственного назначения, является ясень (Sheeren et al., 2011). Точность его распознавания на спутниковых изображениях на основе метода опорных векторов составила более 90 %. В восточной части Балтийской территории состав древостоев, зарастающих на сельскохозяйственных полях, изменился с лиственных пород на ель европейскую (*Picea abies*), что объясняется благоприятной влажностью почвы и развитием плотного травяного покрова (Rüsiņa et al., 2020).

В настоящее время в Республике Башкортостан наблюдается такая же ситуация. Около десятков тысяч гектар заброшенных сельскохозяйственных угодий, которые на протяжении более 10 лет не подвергались распашке, сенокосению и выпасу скота, зарастают древесной растительностью (Государственный доклад..., 2020). Причиной такой тенденции является неиспользование сельскохозяйственных земель по назначению и бездействие со стороны правообладателей земельных участков, сопряжённое с несоблюдением обязательных требований и мероприятий по защите земель от зарастания. Между тем в Республике Башкортостан, в отличие от других регионов, практически отсутствуют исследования, рассматривающие данную проблему. В Республике Марий Эл результаты исследования на эту тему показали, что на землях бывших сельскохозяйственных угодий происходит рост и формирование высокопродуктивных берёзовых и сосновых насаждений (Курбанов и др., 2010а, Курбанов и др., 2010б). Эффект от перевода таких земель в лесной, однозначно, будет иметь положительный эффект, что также регламентируется нормативно-правовыми актами (Об обеспечении плодородия земель..., 2014; Об утверждении Правил обеспечения сохранения..., 2018). Тем не менее, ведение лесного хозяйства на таких участках вызывает определённые трудности (Морозов, Николаева, 2013). Это обоснованно тем, что зарастание происходит постепенно, а его скорость зависит от площади заброшенного участка.

Кроме того, такие естественные процессы на бывших сельскохозяйственных землях могут привести к тому, что и через несколько десятков лет участок не будет полностью покрыт древесной растительностью. В этом случае не обойтись без применения технологии искусственного лесовозобновления, что в результате приведёт к созданию разновозрастного насаждения. Всё это свидетельствует об актуальности рассматриваемого вопроса для республики Башкортостан.

Целью работы является оценка зарастания сельскохозяйственных земель древесной растительностью, определение её породного состава с использованием разновременных снимков Landsat и натурных обследований. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- подобрать участок с использованием базы данных Landsat;
- провести натурные обследования на выбранном участке путём глазомерно-измерительной таксации;
- оценить степень зарастания исследуемого участка древесной растительностью по разновременным изображениям Landsat в программной среде ArcGIS;
- сравнить результаты полученных наземных и спутниковых данных, сделать выводы.

Характеристика объекта исследования. Объект исследования расположен на земельном участке, принадлежащем ООО «Нива», Бакалинского района (село Нагайбаково) Республики Башкортостан (рис. 1).



Рис. 1. Объект исследования (карта Яндекс)

Методика исследований состояла из двух этапов: полевые и камеральные работы. Полевые исследования на рассматриваемом участке проводились в период с мая по октябрь 2018 года. При глазомерно-измерительной таксации было использовано комбинирование глазомерных и инструментальных методов. На пробной площади был определён породный состав, у средних учётных деревьев замерены высоты и диаметры на 1,3 м высоты.

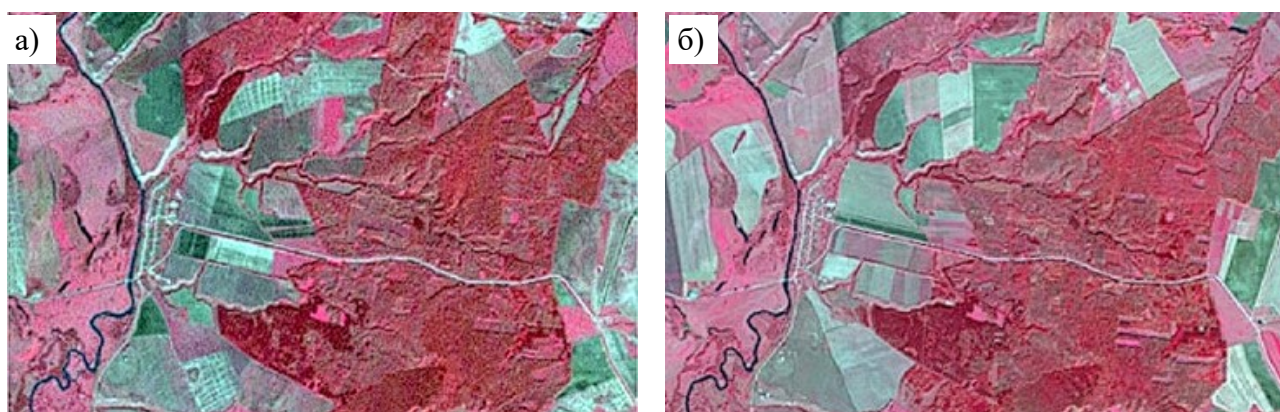
Во время камеральных работ подобраны изображения за 2001 (Landsat 5) и 2019 гг. (Landsat 8), сделанные в сентябре–октябре соответствующего года. Все снимки были атмосферно скорректированы в пакете ArcGIS 10.5. При расчёте индекса ARVI (Атмосфероустойчивый вегетационный индекс – *англ.* Atmospherically Resistant Vegetation Index) на исследуемую площадь был использован широкий инструментарий программы ArcMap. Значения данных индексов варьируют от -1 до 1. Определение видового состава проведено полевым методом ввиду недостаточного разрешения снимков со спутников Landsat.

Результаты исследований. Первый этап обработки данных снимков заключался в использовании комбинации спектральных каналов NIR, Red и Green для определения наличия на исследуемом участке древесной растительности. В табл. 1 приведена информация о наземном покрове, которую возможно извлечь из комбинации спектральных каналов Landsat.

Информация, получаемая при комбинации каналов (Костикова, 2005)

Комбинация спектральных каналов Landsat 5	Комбинация спектральных каналов Landsat 8	Потенциальная информация о наземном покрове
4, 3, 2	5, 4, 3	Стандартная комбинация «искусственные цвета». Растительность отображается в оттенках красного, городская застройка – зелено-голубых, а цвет почвы варьируется от темно- до светло- коричневого. Лёд, снег и облака выглядят белыми или светло-голубыми (лёд и облака по краям). Хвойные леса будут выглядеть более темно-красными или даже коричневыми по сравнению с лиственными. Эта комбинация очень популярна и используется главным образом для изучения состояния растительного покрова, мониторинга дренажа и почвенной мозаики, а также для изучения агрокультур. В целом насыщенные оттенки красного являются индикаторами здоровой и (или) широколиственной растительности, в то время как более светлые оттенки характеризуют травянистую или редколесья/кустарниковую растительность.

По результатам синтезирования каналов Landsat получились сцены на исследуемый участок за разные годы (рис. 2).



По результатам проведённой обработки можно отметить следующее: на снимке 2001 года древесная растительность на исследуемом участке не обнаружена. На снимках 2019 года древесная растительность на исследуемом участке, состоящая из хвойных и лиственных пород, отображается более чётко. Об этом свидетельствует более тёмный цвет растительности, расположенной по краям зарастающего участка (рис. 2).

При помощи дискретной шкалы значений индекса ARVI (рис. 3) возможно чёткое выделение растительного покрова от прочих природных объектов.



Рис. 3. Дискретная шкала индекса ARVI

Как видно из рисунка 4, на участке зарастания присутствует густая травянистая растительность с индексом ARVI от 0,2 до 0,3; на снимках 2001 и 2019 годов проявляются участки с присутствием деревьев, чей индекс находится в промежутках 0,3-0,9. Открытые почвы с индексом ARVI от 0 до 0,2 имеют тёмно-коричневую окраску.

По результатам расчёта индекса ARVI можно сделать вывод, что зарастающий участок (фиолетовый треугольник) имеет прямое происхождение от стены леса (красная линия), которая граничит с изучаемым участком.

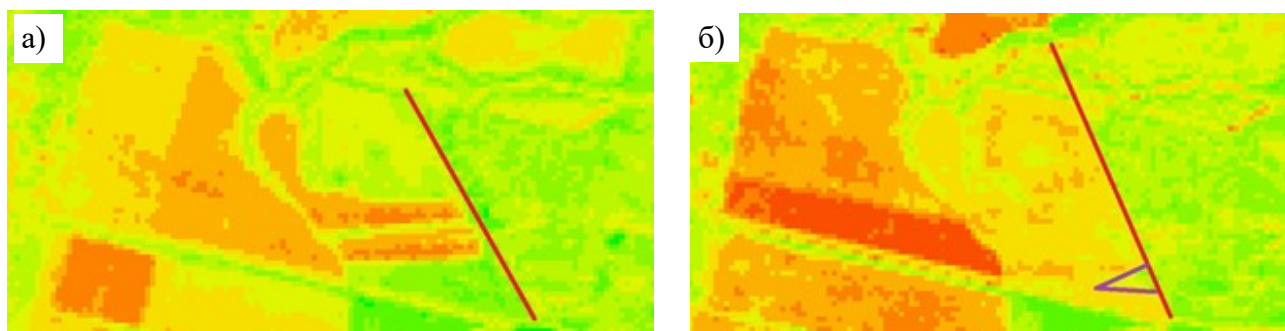


Рис. 4. Сцены изучаемой территории по индексу ARVI: а) 2001 г., б) 2019 г.

Второй этап обработки состоял в определении породного состава древесной растительности, зарастающей на обследуемом участке. Для этого была использована комбинация каналов Red, Green и Blue (табл. 2).

Таблица 2

Информация, получаемая при комбинации каналов Landsat (Костикова, 2005)

Комбинация каналов Landsat 5	Комбинация каналов Landsat 8	Информация о наземном покрове
3, 2, 1	4, 3, 2	Комбинация «естественные цвета». В этой комбинации используются каналы видимого диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом. Здоровая растительность выглядит зелёной, убранные поля – светлыми, нездоровая растительность – коричневой и жёлтой, дороги – серыми, береговые линии – белёсыми. Эта комбинация каналов дает возможность анализировать состояние водных объектов и процессы седиментации, оценивать глубины. Также используется для изучения антропогенных объектов.

По результатам такого синтеза каналов получились следующие снимки (рис. 5):



Рис. 5. Комбинации каналов Red, Green и Blue снимков Landsat: а) 2001 г., б) 2019 г.

На рисунке 5 видно, что стена леса, которая граничит с нашим исходным участком, имеет смешанный состав, то есть встречаются как лиственные, так и хвойные породы. Это можно отметить по пожелтевшей листве и зелёной хвое, что соотносится с натурными исследованиями. Для подтверждения наличия хвойной растительности на прилегающем лесном массиве к зарастающему участку был также обработан снимок, сделанный в январе (рис. 6).

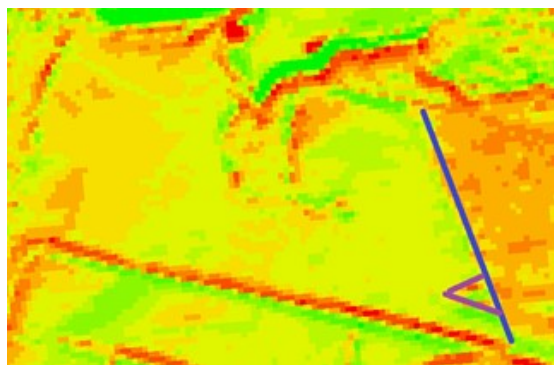


Рис. 6. Индекс ARVI на снимке Landsat (январь 2019)

Для определения хвойной растительности была использована шкала ARVI для снимков, сделанных в зимние месяцы (рис. 7) (Вегетационные индексы. Основы, формулы...).

Значение индекса ARVI для этого участка составляет 0,3–0,9, что является подтверждением факта наличия древесно-кустарниковой растительности.

Определение площади проведено с помощью инструментов «Переклассификация» и «Таблица атрибутов». Снимок, полученный при расчёте индекса ARVI, позволил отделить пиксели, содержащие древесную растительность, от остальных видов земель. Зная площадь одного такого пикселя, получили данные по площади зарастающего участка.

При определении видового состава и густоты древесной растительности, ввиду низкого разрешения снимков со спутников Landsat, были использованы устоявшиеся методы, применяемые в лесной таксации.

По итогам выполненных работ было установлено, что площадь зарастания древесными породами сельскохозяйственного участка составляет 2,5 га. Из них 60 % составляет сосна обыкновенная, а 40 % – лиственные породы (в основном берёза повислая). Полнота составила 0,6.

Выводы. Комплексное использование данных ДЗЗ и ГИС технологий позволяет провести оценку зарастания земель сельскохозяйственного назначения древесной растительностью. Комбинации спектральных каналов 5, 4, 3 для снимков со спутника Landsat 8 и каналов 4, 3, 2 для снимков со спутника Landsat 5 дают возможность определить наличие древесной растительности на землях сельскохозяйственного назначения.

Анализ космических снимков показал, что на исследуемом участке присутствует густая травянистая растительность с индексом ARVI от 0,2 до 0,3, для участков с наличием древесной растительности индекс находится в промежутках 0,3–0,9. Возможности ГИС-технологий позволили определить площадь зарастания, которая составила 2,5 га. Видовой состав и густота были установлены с помощью натурных исследований.

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. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / под ред. акад. Г. А. Романенко. Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. 64с.
2. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2019 году / Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан. Уфа, 2020. 286 с.
3. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2018 году. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 340 с.
4. Об обеспечении плодородия земель сельскохозяйственного назначения в Республике Башкортостан: закон Республики Башкортостан от 26.09.2014 г. № 131-з
5. Об утверждении Правил обеспечения сохранения и восстановления плодородия земель сельскохозяйственного назначения в Республике Башкортостан: постановление Правительства Республики Башкортостан от 1 августа 2018 года N 369.



Рис. 7. Индекс ARVI на снимке Landsat (январь 2020)

6. Вегетационные индексы. Основы, формулы, практическое использование [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=20&table=news. – 18.11.2020.
7. Костикова А. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM+ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html>. – 15.10.2020.
8. 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. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010а. Т. 2, № 9. С. 14-20.
9. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А. Использование космических снимков ALOS для выявления площадей бывших сельскохозяйственных угодий, зарастающих лесом // Геоматика. 2010б. №4. С. 68–72.
10. Морозов А.М, Николаева И.О. Особенности лесообразовательного процесса на пашне и сенокосе // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 5. С. 82-86.
11. De Natale F., Gasparini P., Carriero A. A study on tree colonization of abandoned land in the Italian Alps: extent and some characteristics of new forest stands in Trentino. Sustainable Forestry – From monitoring and modelling to knowledge management and policy science. CAB International, 2007. P. 269–284.
12. Rūsiņa S., Prižavotte D., Nikodemus O., Brūmelis G., Gustiņa L., Kasparinskis R. Land-use legacies affect Norway spruce *Picea abies* colonization on abandoned marginal agricultural land in Eastern Baltics // New forests. 2020. DOI: 10.1007/s11056-020-09809-y.
13. Sheeren D., Fauvel M., Ladet S., Jacquin A., Bertoni G., Gibon A. Mapping ash tree colonization in an agricultural mountain landscape: Investigating the potential of hyperspectral imagery // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2011. Vancouver, BC, Canada, 2011, July 24-29.

References

1. Agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel' Rossii, vybyvshikh iz aktivnogo sel'skokhozyaystvennogo oborota [Agroecological state and prospects for the use of Russian lands that have been removed from active agricultural use] / pod red. akad. G. A. Romanenko, Moscow: FGUN «Rosinformagrotekh», **2008**, 64 p.
2. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnkh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2019 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan in 2019] / Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, Ufa, **2020**, 286 p.
3. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossiiskoi Federatsii v 2018 godu [Report on the state and use of agricultural land in the Russian Federation in 2018], Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», **2020**, 340 p.
4. Ob obespechenii plodorodiya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v Respublike Bashkortostan: zakon Respubliki Bashkortostan ot 26.09.2014 g. № 131-z [On ensuring the fertility of agricultural lands in the Republic of Bashkortostan: the law of the Republic of Bashkortostan dated 09/26/2014 № 131-z]
5. Ob utverzhdenii Pravil obespecheniya sokhraneniya i vosstanovleniya plodorodiya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v Respublike Bashkortostan: postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Bashkortostan ot 1 avgusta 2018 goda N 369 [On approval of the Rules for ensuring the preservation and restoration of the fertility of agricultural lands in the Republic of Bashkortostan: Resolution of the Government of the Republic of Bashkortostan of August 1, 2018 N 369]
6. Vegetatsionnye indeksy. Osnovy, formuly, prakticheskoe ispol'zovanie [Vegetation indexes. Basics, formulas, practical use], URL: http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=20&table=news. – 18.11.2020.
7. Kostikova A. Interpretatsiya kombinatsii kanalov dannykh Landsat TM / ETM+ [Interpreting a combination of Landsat TM data channels / ETM+], URL: <https://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html>. – 15.10.2020.
8. 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. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, **2010a**, T. 2, № 9, P. 14-20.
9. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A. Ispol'zovanie kosmicheskikh snimkov ALOS dlya vyyavleniya ploshchadei byvshikh sel'skokhozyaystvennykh ugodii, zarastayushchikh lesom [Use of ALOS satellite images to identify areas of former agricultural lands overgrown with forest], *Geomatika*, **2010b**, №4, P. 68–72.
10. Morozov A.M, Nikolaeva I.O. Osobennosti lesoobrazovatel'nogo protsessa na pashne i senokose [Features of the forest formation process in arable land and hayfields], *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, **2013**, № 5, S. 82-86.
11. De Natale F., Gasparini P., Carriero A. A study on tree colonization of abandoned land in the Italian Alps: extent and some characteristics of new forest stands in Trentino, Sustainable Forestry – From monitoring and modelling to knowledge management and policy science, *CAB International*, **2007**, P. 269–284.
12. Rūsiņa S., Prižavotte D., Nikodemus O., Brūmelis G., Gustiņa L., Kasparinskis R. Land-use legacies affect Norway spruce *Picea abies* colonization on abandoned marginal agricultural land in Eastern Baltics, *New forests*, **2020**. DOI: 10.1007/s11056-020-09809-y.
13. Sheeren D., Fauvel M., Ladet S., Jacquin A., Bertoni G., Gibon A. Mapping ash tree colonization in an agricultural mountain landscape: Investigating the potential of hyperspectral imagery, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS*, **2011**.