

## Технология автоматизации получения данных о лесных насаждениях для целей лесопользования

Д.Б. Горохов<sup>a</sup>, О.К. Даниленко<sup>b</sup>, Д.С. Хлыстов<sup>c</sup>

Братский государственный университет, Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>a</sup> gorokhov@brstu.ru, <sup>b</sup> olgdanilenko@yandex.ru, <sup>c</sup> xds1983@mail.ru

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-7271-350X, <sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1308-2813,

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-8962-3631

Статья поступила 30.04.2021, принята 11.05.2021

*Рассмотрен вопрос создания автоматизированной программы дешифрирования снимков участков лесных насаждений средствами машинного обучения по обнаружению экземпляров определенного класса в изображении или видео. Предложена методика сбора и обработки банка растровых изображений лесных насаждений на основе видеоматериала с беспилотного летательного средства для подготовки маркированного набора данных в формате, пригодном для обучения средствами нейронных сетей. Исходя из скорости обучения и распознавания, выбрана архитектура нейронной сети и реализовано ее обучение для обнаружения и классификации деревьев. Показано, что эффективность работы нейронной сети неодинакова для планового и перспективного отображения объектов лесных насаждений. Предложено решение повышения качества обнаружения объектов путем введения дополнительной нейронной сети, обученной на изображениях отдельных объектов и организации трех каналов данных – основного, идущего от БЛС по умолчанию, дополнительного, «текущего», для учета изменения перспективы отображения объектов и дополнительного, «априорного», для отслеживания объектов лесного насаждения на основе полетов БЛС, полученных ранее.*

**Ключевые слова:** лесной реестр, лесной фонд, беспилотное летательное средство, дешифрирование снимков, нейронная сеть, обнаружение объектов.

## Automation technology for obtaining data on forest plantations for forest management purposes

D.B. Gorokhov<sup>a</sup>, O.K. Danilenko<sup>b</sup>, D.S. Khlystov<sup>c</sup>

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>a</sup> gorokhov@brstu.ru, <sup>b</sup> olgdanilenko@yandex.ru, <sup>c</sup> xds1983@mail.ru

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-7271-350X, <sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1308-2813,

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-8962-3631

Received 30.04.2021, accepted 11.05.2021

*The issue of creating an automated program for decrypting images by means of machine learning for detecting instances of a certain class in an image or video is considered. A method for collecting and processing a bank of raster images based on video of an unmanned aerial vehicle (UAV) for preparing a marked dataset in a format suitable for training by means of neural networks is proposed. Based on the speed of learning and recognition, the architecture of the neural network was chosen and its training was implemented for the detection and classification of trees - the YOLO architecture. It is shown that the efficiency of the neural network is not the same for the planned and perspective display of objects. A solution is proposed to improve the quality of object detection by introducing an additional neural network trained on images of individual objects, and organizing three data channels - the main channel coming from the UAV by default, an additional "current" channel to account for changes in the prospects for displaying objects, and an additional "previous" channel, based on UAV flights made earlier, to track objects.*

**Keywords:** forest register, forest resources, unmanned aerial vehicle, photo interpretation, neural network, object detection.

**Введение.** 20 января 2021 был принят Федеральный закон о создании федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК) с обеспечением полной прослеживаемости древесины от ее заготовки, мест складирования до производства продукции ее переработки и вывоза продукции из Российской Федерации [1]. Данную Федеральную государственную информационную систему лесного комплек-

са (ФГИС ЛК), согласно календарному плану, планируется полностью реализовать к 2023 году.

Информатизация лесной отрасли как сферы деятельности, где реализуется взаимодействие конкретных субъектов, согласуется с требованиями к процессу внедрения программы "Цифровая экономика РФ" [2]. Развитие информационных процессов лесного комплекса предусматривает как совершенствование суще-

щих информационных систем, так и разработку и внедрение дополнительных систем, таких как:

- система дистанционного мониторинга;
- ведомственный ФПД;
- автоматизированная система контроля за достоверностью актов лесопатологических обследований;
- ситуационный центр;
- единая автоматизированная информационная система.

Вышеперечисленные системы направлены на создание единой платформы для обеспечения информационно-аналитической поддержки деятельности сторон в области пользования лесами. Второй этап реализации Федерального закона позволит объединить данные в электронный лесной реестр. Электронные сведения о лесном фонде станут основой для предприятий лесного комплекса в решении широкого спектра задач – от определения инвестиционной привлекательности конкретного лесного участка до принятия оперативных решений в процессе реализации лесозаготовительной деятельности.

Однако реализация программы цифровизации ЛК невозможна без автоматизации процессов мониторинга и оценки количественных показателей динамической системы лесов, поскольку это требует сведения высокоточных данных о показателях лесного фонда в относительно короткие сроки в единую платформу.

**Методика исследования.** Существующие автоматизированные технологии получения информации о пространственных данных по лесному фонду базируются в основном на данных космической съемки и данных дистанционного зондирования Земли. Однако получение точных сведений о лесных ресурсах ограничено – при выполнении космической съемки и зондировании поверхности Земли – разрешающей способностью съемочной аппаратуры и сканирующих устройств, а также метеорологическими явлениями в приземном слое атмосферы. Следовательно, сведения, полученные от данных источников, представляют собой информацию, требующую обязательного натурного обследования и уточнения. Применение для натурных обследований беспилотных летательных средств (БЛС) позволяет повысить эффективность процесса натурного обследования с получением высокоточных данных о таксационных показателях лесного фонда, что является особенно актуальным при обследовании ОЗУ, МЛТ и других особо ценных насаждений. БЛС имеют высокую производительность.

Основная трудность при создании автоматизированных программ дешифрирования снимков – это машинное обучение обнаружению экземпляров определенного класса в изображении или видео. Использование систем автоматизированного обнаружения объектов упрощает обнаружение объектов с помощью моделей обнаружения предварительно подготовленных наборов данных.

В процессе проведения эксперимента были выполнены следующие шаги:

1. Сбор данных.
2. Маркировка набора данных.
3. Обучение и тестирование нейронной сети.

За основу данных для анализа были взяты видеографические материалы, полученные непосредственно авторами статьи по результатам вылетов БЛС DJI Phantom 4 Pro над лесопокрытыми территориями (рис. 1). Наборы видеозаписей RGB со сверхвысоким пространственным разрешением ( $\approx 5\text{-}10$  см/пиксел) были получены с использованием стандартной камеры в декабре 2020 года. Изображения лесных насаждений для исследовательских работ были получены в облачных погодных условиях при высоте над уровнем моря 550 м (высота относительно уровня земли 100 м). При производстве съемки использовались стандартные настройки камеры по умолчанию (автоматический баланс белого, ISO 100).

С помощью БЛС можно реализовать задачу создания растровой графической основы с точными координатами отдельных объектов, с дальнейшим визуальным исследованием объектов и с увеличением разрешения графических материалов. Снимки БЛС имеют высокую детализацию, что позволяет вести средствами проведения съемки, а также работы по созданию и обновлению данных лесного кадастра. Высокое качество получаемого визуального материала обеспечивается относительно небольшой высотой съемки от поверхности земли. При этом для получения большого количества снимков поверхности земли возможно применение видеосъемки в качестве 4К с последующей раскадровкой через заданные интервалы времени. Применение видеосъемки позволяет в широком диапазоне варьировать интервал кадрирования, регулируя тем самым степень продольного перекрытия соседних снимков. Кадрирование видеозаписи продолжительностью около 10 мин через 1 с позволило получить около 500 растровых изображений с обеспечением продольного перекрытия соседних снимков в диапазоне от 70 до 80%, при этом при проведении эксперимента высота съемки составляла 100 м.



**Рис. 1.** Примеры образцов данных для машинного обучения автоматизированному дешифрированию участков лесных насаждений

Маршрут полета БЛС (рис. 2) выстраивался таким образом, чтобы обеспечивалось 60-70-процентное поперечное перекрытие полученных результатов съемки.

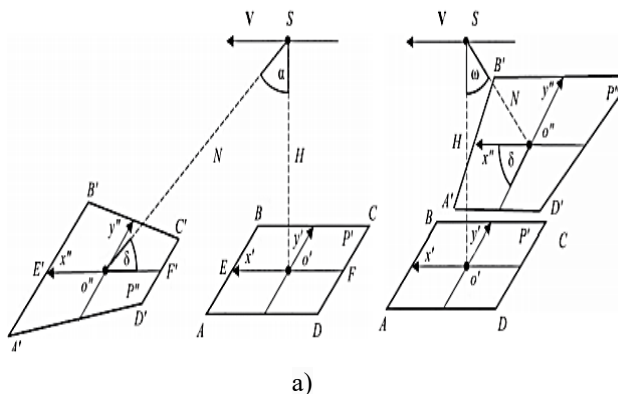
Для реализации процесса машинного обучения необходима обработка большого количества изображений. Все изображения имеют довольно высокое разрешение, что облегчает процесс обработки и обучения.

Для маркировки отдельно стоящих деревьев использовалось специализированное свободное программное обеспечение LabelImg.



Рис. 2. Схема маршрута съемки

При помощи данного программного обеспечения на снимках выделялось каждое дерево с указанием атрибутивной информации по группе пород (рис. 4), что позволило классифицировать изображения деревьев лесного насаждения на хвойные и лиственные породы. При этом при маркировке следует учитывать изменение вида отображения объекта в зависимости от расположения относительно оси съёмочной аппаратуры. Размеры границы кадра на местности  $P'$  зависят от величины углов как поперечного  $\omega$ , так и продольного  $\alpha$  склонения главной визирной оси съёмочной аппаратуры, перемещающейся в направлении  $V$ . Если главная визирная ось ориентирована вертикально на надир  $H$ , форма границ кадров близка к правильному четырехугольнику  $ABCD$ . Однако боковая часть участка съемки преобразуется в трапецию  $P''$ [3]. Образующаяся трансформация вызывает преобразование сторон четырехугольника  $ABCD$ , и возникают геометрические искажения (рис. 3). Тогда на одном и том же снимке возникает два вида отображения объектов: плановое и перспективное, что значительно усложняет процесс обучения нейронной сети [4,5,6].



а)



б)

Рис. 3. Пример изменения отображения объектов, снимаемых на участках планового и перспективного изображения

Каждое из деревьев насаждения выделялось рамкой с последующим указанием принадлежности к той или иной группе пород (рис. 4). По окончании процесса маркировки изображение с атрибутивной информацией сохранялось в основной каталог. Вся информация о нанесенных маркерах и принадлежности к тому или иному классу сохранялась в отдельный файл формата XML для каждого изображения (рис. 5).

Маркировка отдельных объектов производилась средствами визуальной оценки. В результате были созданы множественные наборы входных данных, на основе которых можно производить обучение нейронной сети.

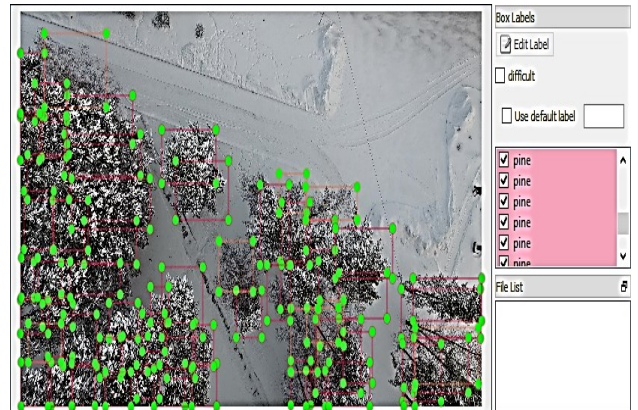


Рис. 4. Пример маркировки графического материала в приложении LabelImg

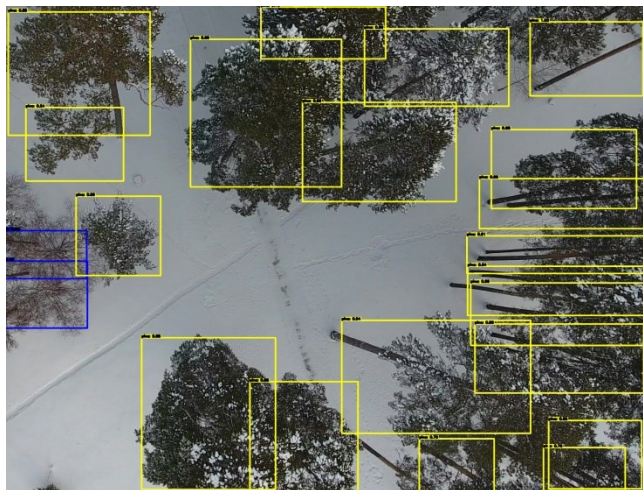
```

1 <annotation>
2   <!--><folder></folder>
3   <!--><filename>DJI_0004_159.jpg</filename>
4   <!--><size>
5     <!--><width>4096</width>
6     <!--><height>2160</height>
7     <!--><depth>3</depth>
8   </size>
9   <!--><object>
10    <!--><name>pine</name>
11    <!--><bndbox>
12      <!--><xmin>2701</xmin>
13      <!--><ymin>1387</ymin>
14      <!--><xmax>3370</xmax>
15      <!--><ymax>1671</ymax>
16    </bndbox>
17  </object>

```

Рис. 5. Фрагмент файла XML, соответствующего рис. 4

Основная сложность с обнаружением объектов лесного фонда заключается в большом разнообразии видовых форм природных объектов, высокой плотности размещения объектов на единице площади, большом диапазоне изменения геометрических размеров объектов и их размещения относительно оси ведения съемки [11,12,13,14].



**Рис. 6.** Пример работы обученной нейронной сети по обнаружению и классификации деревьев

В качестве архитектуры нейронной сети была выбрана YOLO, которая выгодно отличается скоростью обучения, обработки изображений и видео. Весь массив растровых изображений был разделен на обучающее и тестовое множества [8]. Пример работы обученной нейронной сети показан на рис. 6.

При обучении нейронной сети было обнаружено, что плановое отображение объектов распознается значительно лучше вследствие того, что таких объектов в наборе данных значительно больше, чем объектов, отображенных в перспективе. Причем на каждый угол перспективы приходится еще меньше объектов из общего количества объектов. Это приводит к тому, что объект, обнаруженный при его плановом отображении, по мере удаления от него БЛС может быть не обнаружен на некоторых снимках (рис. 7).



**Рис. 7.** Примеры эффективности обнаружения объектов при варьировании угла наклона визирной оси съемочной аппаратуры

Для повышения качества обнаружения объектов предлагается добавление еще одной нейронной сети,

обученной на наборе изображений отдельных объектов. Тогда при обнаружении объекта в плановом его отображении будет вычисляться область его вероятного местоположения на следующем снимке, вычисленная исходя из взаимосвязи маршрута полета и данных об изменении положения БЛС. Эта область, вырезанная из общего снимка, будет подаваться на вход дополнительной нейронной сети. Полученные на выходе сети координаты объекта и его маркировка будут отображаться на общем снимке [9,10].

Кроме этого по мере накопления банка растровых изображений, снятых в разное время года для одной и той же местности, предполагается создание базы данных о координатах и маркировках обнаруженных объектов. Тогда при проведении новых полетов БЛС к результатам работы нейронных сетей будет добавляться и вероятностные значения координат ранее обнаруженных объектов для обработки их второй дополнительной нейронной сетью.

Таким образом, предполагается реализовать обработку трех каналов данных:

1. Основного, идущего от БЛС по умолчанию.
2. Дополнительного, «текущего», для учета изменения перспективы отображения объектов.
3. Дополнительного, «априорного», для отслеживания объектов на основе полетов БЛС, сделанных ранее.

**Выводы.** В результате проведенных исследований по решению поставленной задачи авторами было осуществлено:

1. Предложена методика сбора и обработки банка растровых изображений на основе видео БЛС для подготовки маркированного набора данных в формате, пригодном для обучения средствами нейронных сетей.
2. Выбрана архитектура нейронной сети и реализовано ее обучение для обнаружения и классификации деревьев.
3. Доказано, что эффективность работы нейронной сети неодинакова для планового и перспективного отображения объектов.
4. Предложено решение по повышению качества обнаружения объектов путем введения дополнительной нейронной сети, обученной на изображениях отдельных объектов, и организации трех каналов данных.
5. Доказана возможность применения БЛС для реализации программы цифровизации лесного комплекса с целью повышения оперативности получения информации о процессах лесопользования [15,16,18] и динамики лесного фонда, что в конечном счете отвечает принципам неистощительного и непрерывного лесопользования [17].

В результате практической реализации системы автоматизированного дешифрирования неоднократно извлечения объектов из аэрофотоснимков с использованием сверхточных нейронных сетей [19,20] появляется возможность значительного упрощения процесса получения актуальной и достоверной информации об объектах лесного фонда для реализации Национальных программ цифровизации лесного комплекса.

## Литература

1. О внесении изменений в Лесной кодекс Рос. Федерации и отдельные законодательные акты Рос. Федерации в части совершенствования правового регулирования лесных отношений: федер. закон от 04 фев. 2021 г. № 3-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «ГАРАНТ.РУ». (дата обращения: 25.04.2021).
2. О национальных целях развития Рос. Федерации на период до 2030 г.: указ Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474. Доступ из информ.-правового портала «ГАРАНТ.РУ». (дата обращения: 25.04.2021).
3. Григорьев А.Н., Алтухов А.И., Коршунов Д.С. Подход к ведению аэро съемки местности с использованием компоновки оптико-электронных камер // Науч.-технический вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 3. С. 319-326.
4. Алексеева В.А. Использование методов машинного обучения в задачах бинарной классификации // Автоматизация процессов управления. 2015. № 3 (41). С. 58-63.
5. Колесников А.А., Кикин П.М., Комиссарова Е.В., Касьянова Е.Л. Использование технологий машинного обучения при решении геоинформационных задач // ИнтерКарто. ИнтерГис. 2018. Т. 24. № 2. С. 371-384.
6. Воронцов К.В. Машинное обучение [Электронный ресурс]. URL: <http://www.machinelearning.ru> (дата обращения: 25.04.2021).
7. Дмитриев Е.В., Козуб В.А., Мельник П.Г., Соколов А.А., Сафонова А.Н. Классификация и оценка состояния смешанных древостоев по аэроизображениям сверхвысокого пространственного разрешения // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2019. № 5. С. 9-24.
8. Горохов Д.Б., Даниленко О.К., Босых М.А., Внуков А.В. Выбор программной платформы для решения задачи обнаружения объектов // Труды Братского гос. ун-та. 2020. Т. 1. С. 50-53.
9. Даниленко О.К., Сухих А.Н., Горохов Д.Б. Применение БЛПА для повышения эффективности лесозаготовительного производства в условиях истощенных лесосырьевых баз // Труды Братского гос. ун-та. 2020. Т. 1. С. 58-62.
10. Бакланов А.И. Системы наблюдения и мониторинга. М.: Бинном, 2014. 234 с.
11. Барталев С.А., Исаев А.С., Лупян Е.А. Современные приоритеты развития мониторинга бореальных экосистем по данным спутниковых наблюдений // Сиб. экол. журнал. 2005. № 6. С. 1039-1054.
12. Князева С.В. Картографо-аэрокосмический мониторинг лесов национальных парков: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: ВНИИЛМ, 2006. 26 с.
13. Сухих В.И., Жирин В.М. Применение сканерных космических снимков при инвентаризации резервных лесов // Дистанционные методы в лесоустройстве и учете лесов. Приборы и технологии: материалы Всерос. совещания-семинара с междунар. участием. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. С. 92-97.
14. Манухов В.Ф., Варфоломеев А.Ф., Манухова В.Ф. О геоинформационной поддержке междисциплинарных исследований // Науч. труды КубГТУ: электрон. сетевой полиграфический журнал; материалы XX Междунар. науч.-практической конф. «Инновационные процессы в высшей школе». 2014. № 4. С. 182-184.
15. Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений // Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Науч. мир, 2003. 356 с.
16. Геоинформатика / под ред. В.С. Тикунова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Академия, 2010. 400 с.
17. Лесной кодекс Рос. Федерации. М.: ЭЛИТ, 2007. 48 с.
18. Tokui S., Okuta R., Akiba T., Niitani Y., Ogawa T., Saito S., Suzuki S., Uenishi K., Vogel B., Yamazaki H. A Deep Learning Framework for Accelerating the Research Cycle // Computer Science: Machine Learning, 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1908.00213> (дата обращения: 25.04.2021).
19. Бородников А.А., Мясников В.В. Сравнение алгоритмов классификации в задаче распознавания объектов на радарных изображениях базы MSTAR // Информационные технологии и нанотехнологии: обработка изображений и дистанционное зондирование Земли (ИТНТ-2018): IV Междунар. конф. и молодёжная школа. Самара, 2018. С. 586-594.
20. Михалин Е.С., Чипко А.Г., Чипко В.Г. Неоднократное извлечение объектов из аэрофотоснимков с использованием сверхточных нейронных сетей // Наука сегодня: фундаментальные и прикладные исследования: материалы междунар. науч.-практической конф. (28 сент. 2016 г.). Вологда, 2016. С. 38-40.

## References

1. On Amendments to the Forest Code of the Russian Federation and certain legislative acts of the Russian Federation in terms of improving the legal regulation of forest relations: feder. zakon of 04 fev. 2021 g. № 3-FZ. Dostup iz inform.-pravovogo portala «GARANT.RU». (data obrashcheniya: 25.04.2021).
2. On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 g.: ukaz Prezidenta RF ot 21 iyulya 2020 g. № 474. Dostup iz inform.-pravovogo portala «GARANT.RU». (data obrashcheniya: 25.04.2021).
3. Grigor'ev A.N., Altuhov A.I., Korshunov D.S. An Approach to Aerial Survey of Terrain Using the Layout of Optoelectronic Cameras // Nauch.-tekhnicheskij vestn. informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki. 2020. V. 20. № 3. P. 319-326.
4. Alekseeva V.A. Using machine learning methods in binary classification problems // Automation of Control Processes. 2015. № 3 (41). P. 58-63.
5. Kolesnikov A.A., Kikin P.M., Komissarova E.V., Kas'yanova E.L. The use of machine learning technologies in solving geoinformation problems // InterKarto. InterGis. 2018. V. 24. № 2. P. 371-384.
6. Voroncov K.V. Machine learning [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.machinelearning.ru> (data obrashcheniya: 25.04.2021).
7. Dmitriev E.V., Kozub V.A., Mel'nik P.G., Sokolov A.A., Safonova A.N. Classification and assessment of the state of mixed forest stands by aerial images of ultra-high spatial resolution // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2019. № 5. P. 9-24.
8. Gorohov D.B., Danilenko O.K., Bosity M.A., Vnukov A.V. The choice of software platform for solving the problem of object detection // Trudy Bratskogo gos. un-ta. 2020. V. 1. P. 50-53.
9. Danilenko O.K., Suhih A.N., Gorohov D.B. The use of BLPA to improve the efficiency of logging production in the conditions of depleted forest resources // Trudy Bratskogo gos. un-ta. 2020. V. 1. P. 58-62.
10. Baklanov A.I. Observation and Monitoring Systems. M.: Binom, 2014. 234 p.
11. Bartalev S.A., Isaev A.S., Lupyan E.A. Modern priorities in the development of monitoring of boreal ecosystems based on satellite observations // Contemporary Problems of Ecology. 2005. № 6. P. 1039-1054.

12. Knyazeva S.V. Cartographic Aerospace Monitoring of National Parks Forests: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. M.: VNILM, 2006. 26 p.
13. Suhii V.I., ZHirin V.M. The use of scanner satellite images in the inventory of reserve forests // *Distancionnye metody v lesoustrojstve i uchete lesov. Pribory i tekhnologii: materialy Vseros. soveshchaniya-seminara s mezhdunar. uchastiem.* Krasnoyarsk: In-t lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN, 2005. P. 92-97.
14. Manuhov V.F., Varfolomeev A.F., Manuhova V.F. On geoinformation support of interdisciplinary research // *Nauch. trudy KubGTU: elektron. setevoj politematicheskij zhurnal; materialy XX Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. «Innovacionnye processy v vysshej shkole».* 2014. № 4. P. 182-184.
15. Lur'e I.K., Kosikov A.G. Theory and practice of digital image processing // *Remote sensing and geographic information systems.* M.: Nauch. mir, 2003. 356 p.
16. *Geoinformatics / pod red. V.S. Tikunova.* 3-e izd., pererab. i dop. M.: Akademiya, 2010. 400 p.
17. *Forest Code of the Russian Federation.* M.: ELIT, 2007. 48 p.
18. Tokui S., Okuta R., Akiba T., Niitani Y., Ogawa T., Saito S., Suzuki S., Uenishi K., Vogel B., Yamazaki H. A Deep Learning Framework for Accelerating the Research Cycle // *Computer Science: Machine Learning,* 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1908.00213> (data obrashcheniya: 25.04.2021).
19. Borodnikov A.A., Myasnikov V.V. Comparison of classification algorithms in the problem of object recognition on radar images of the MSTAR database // *Informacionnye tekhnologii i nanotekhnologii: obrabotka izobrazhenij i distancionnoe zondirovanie Zemli (ITNT-2018): IV Mezhdunar. konf. i molodyozhnaya shkola.* Samara, 2018. P. 586-594.
20. Mihalin E.S., CHipko A.G., CHipko V.G. Repeated extraction of objects from aerial photographs using ultra-precise neural networks // *Nauka segodnya: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (28 sent. 2016 g.).* Vologda, 2016. P. 38-40.