

УДК 630*583+681.518
DOI: 10.47148/1609-364X-2020-4-20-27

© Коллектив авторов

М.Р. Вагизов, С.Ю. Степанов, Я.А. Петров, А.Ю. Сидоренко

Методика дешифрирования и инвентаризации лесных насаждений средствами ГИС AutoCad Map

Аннотация. В статье авторов рассматривается предлагаемая методика инвентаризации древесных растений при помощи инструментов геоинформационных систем. В задачи исследования входило подеревная инвентаризация насаждений в городе, данная задача представляет практический интерес в рамках управления и развития хозяйственной деятельности в урбанизированной территории. Для проведения подеревного дешифрирования авторами была проведена работа создания тематических слоев на каждую из идентифицированных пород. В статье описывается поэтапная методика для формализации признаков насаждений в рамках рассматриваемой системы и возможного перехода от классической таксации древостоев к частично автоматизированным методам дешифрирования насаждений на уровне отдельно рассматриваемых древесных пород в интересах садово-паркового хозяйства. В статье указываются необходимые характеристики для создания базы данных признаков насаждений средствами ГИС Autocad Map.

Ключевые слова: ГИС, инвентаризация насаждений, дистанционные методы, дешифрирование древесных растений.

M.R. Vagizov, S.Y. Stepanov, Y.A. Petrov, A.Y. Sidorenko

Method of decryption and inventory of forest plantations by means of GIS AutoCad Map

Annotation. The authors' article discusses the proposed methodology for the inventory of woody plants using the tools of geographic information systems. The tasks of the study included a tree inventory of plantations in the city, this task is of practical interest in the management and development of economic activities in an urbanized territory. To conduct sub-river decryption, the authors carried out work on creating thematic layers for each of the identified trees. The article describes a step-by-step methodology for formalizing the features of plantations within the framework of the system under consideration and the possible transition from classical taxation of woodlands to partially automated methods for decrypting plantations at the level of separately considered tree species for the benefit of garden and park farming. The article indicates the necessary characteristics for creating a database of plantings features using the Autocad Map GIS.

Key words: GIS, plant inventory, remote methods, decryption of woody plants.

Поступила 14.09.2020
Доработана 12.10.2020

Принята к печати 25.10.2020

Введение

Развитие методов автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) средствами геоинформационных технологий является одним перспективных направлений изучения и мониторинга лесных ресурсов. Данный метод сопряжен с применением целого ряда технологических приемов на основе информационных технологий, математической статистики и искусственного интеллекта. С получением большого объема информации с геостационарных спутников Земли и повышением качества материалов ДЗЗ необходимым становится постоянная разработка новых алгоритмов анализа изображений и усовер-

шенствование существующих [1]. На сегодняшний день автоматизированные методы обработки изображений положительно зарекомендовали себя в сельском хозяйстве, а расчет применяемых индексов NDVI на основе коэффициентов спектральной яркости достоверно позволяет рассчитывать многие параметры и показатели. Однако стоит отметить, что данные индексы не позволяют в полной мере использовать их в лесном хозяйстве, поскольку основные показатели сельскохозяйственных культур, на основании которых производится расчет, являются однотипными, обусловлено это самими биологическими и морфологическими характеристиками монокультур. К данным показателям

можно отнести: четкие периоды созревания урожая, выраженность определенных признаков на изображениях на каждой из стадий созревания, четкие границы между разными видами культур и относительно небольшие промежутки времени роста. Более того, применение индексов NDVI не решает важных хозяйственных задач оценки количественной и качественной характеристик составляющей лесов, скорее, данный показатель является некоторым информационно-сводным показателем.

В лесном хозяйстве, напротив, существуют следующие сложности обработки и применения нормализованных индексов:

- сложная, многоярусная структура древостоя,
- долгий период времени роста лесных культур,
- схожесть морфологических признаков некоторых древесных пород,
- отсутствие четких природно-географических границ между лесами.

В лесном хозяйстве минимальной учетной единицей является таксационный выдел, и все хозяйственные мероприятия планируются исходя из площади и состава выдела. Но что делать, если стоит задача более точного определения и дешифрирования насаждений? Примечательно, что в городских лесах, парках и зеленых насаждениях общего пользования (ЗНОП) требуется более точная инвентаризация насаждений, на уровне определения отдельного дерева и его характеристик, а не таксационного выдела. Данный цикл работ, как правило, называют подеревной инвентаризацией насаждений или подеревной таксацией. Именно он позволяет принимать управленческие решения, назначать рубки, следить за состоянием деревьев, оценить качество дерева. Особое внимание в городских насаждениях уделяется реликтовым насаждениям, имеющим многовековую историю и ценные, редкие виды древесных растений, а также интродуцированные породы, привлекающие внимание граждан и туристов. С развитием методов обработки геоданных и используя опыт таксаторов дешифровщиков, становится возможным проводить данный цикл работ дистанционно, частично с применением геоинформационных систем.

Комплексное рассмотрение данного вопроса показывает, что, используя программные методы обработки космических снимков, технологии машинного обучения и геоинформационные технологии, при правильном сочетании данных методов можно решить обозначенные задачи с получением достаточно точного, приемлемого для сферы лесного и садово-паркового хозяйства результата. В трудах ученых [2, 3] предлагаются концептуальные модели и методы обработки данных дистанционного зондирования Земли, сочетание подходов с программной

обработкой для сфер лесного хозяйства является перспективным развитием аэрокосмических методов изучения лесной растительности современными методами.

В качестве нового научного подхода дешифрирования лесных насаждений в нашей работе рассматривается авторский метод обработки материалов.

Методы исследования

В научных работах авторов [4, 5] указано о возможности использования программной обработки материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для разделения состава леса на лиственные и хвойные без разделения на отдельные породы, благодаря отличительным особенностям спектральных коэффициентов листвы и хвои. Следующей задачей становится разделение насаждения по составу на отдельные породы на снимке. Для этого нужно указать, какие признаки насаждения будут рассматриваться в качестве анализируемых, также укажем, какие основные показатели лесов имеют практическое, важное значение для их определения.

В качестве анализируемой области будут выступать дистанционные материалы, полученные при помощи беспилотного летательного аппарата, и открытые данные картографических веб-сервисов. В качестве инструмента обработки материалов будет использована геоинформационная система AutoCAD Map. Проведение инвентаризации насаждений состоит из следующих этапов:

1. Выбор объекта исследования подлежащего подеревной инвентаризации.
2. Контурное (ручное), подеревное дешифрирование насаждений средствами ГИС.
3. Разработка базы данных признаков насаждений в ГИС.
4. Классификация насаждений и описание их характеристик.
5. Создание тематического слоя для отдельной породы средствами ГИС.
6. Разработка подробной итоговой карты на основе материалов ДЗЗ с динамическими объектами, содержащими сведения о каждом из насаждений.

Дешифрирование лесобразующей породы является одним из необходимых условий цикла работ только для таксации насаждений больших по площади таксационных выделов, поскольку от количества пород распознавания будет зависеть фактическое число объектов распознавания, содержащих правила, присвоенные определенному классу. Данный этап можно охарактеризовать как процесс поэтапного машинного обучения, поскольку в таком случае дешифровщик является учителем обучения системы,

а система наполняется формальными признаками, на основании которых возможно будет различать деревья по составу. В парковых зонах лесообразующая порода может отсутствовать ввиду искусственного происхождения древостоя. Подробное описание автоматизированного дешифрирования Ели европейской (*Picea abies*) представлено в научной работе [6]. Укажем основные породы объекта исследования г. Санкт-Петербург, Елагин остров, где проводилась апробация разрабатываемой методики. На каждую породу задается отдельный слой, ему присваивается номер цвета в системе RGB, данная процедура позволяет в окончательном варианте определить тип насаждений, их плотность стояния, установить некоторые взаимосвязи произрастания древостоя (табл. 1).

На каждую из описанных пород требуется отдельная база данных признаков насаждений и отдельная логическая база данных, содержащих максимальное количество признаков самой породы. Также необходимо учитывать, что лесообразующая порода формирует верхний полог леса – главный ярус древостоя, ассоциативные базы признаков насаждений в простых одноярусных насаждениях будут различаться содержанием вариативности признаков данного насаждения на снимке. Лесообразующие породы в урбанизированных территориях

характерны только в тех местах, где присутствуют естественные насаждения. Если на снимке просматривается многоярусный сложный древостой, то количество формируемых признаков будет больше, ввиду того, что разные ярусы образуются вследствие разновозрастной структуры леса. В качестве экспериментальной части анализа данных нами выбрана территория Елагина острова, на которую имеются материалы как открытых картографических сервисов (рис. 1), так и съемка, полученная при помощи БПЛА.

Многоуровневая обработка данных

Это обработка материалов, основанная на принципе наполнения таксационных характеристик насаждения в проекте, который входит в ГИС. Цель методики – выстроить упорядоченный алгоритм работы всех процессов дешифрирования для дальнейшей процедуры автоматизации и разработки комплексной технологии обучения системы. В основе принципа обучения системы частично лежит логика предикатов (первый уровень), описывающих отношения представленных формальных классов, т.е. что есть понятие дерево для определения его на дистанционном материале – снимке. «Береза – дерево», «Ель – дерево». Второй уровень определения – семантическая связность каждого определенного класса и

Таблица 1

Породный состав подеревной инвентаризации в городском парке

Table 1. Species composition of the single forest inventory in the city park

№	Порода	Признаки насаждения	Показатели на снимке	Код цвета породы в системе RGB
1	Сосна (<i>Pinus sylvestris</i>)	Плотность размещения, цвет	Форма кроны, цвет	(51,102,0), #336600
2	Берёза (<i>Bétula pubéscens</i>)			(255,255,0), #ffff00
3	Ель (<i>Picea abies</i>)			(0,255,0), #00FF00
4	Лиственница (<i>Lárix decidua</i>)			(80,200,120), #50C878
5	Клён (<i>Ácer platanoides</i>)			(190,245,116), #BEF574
6	Дуб (<i>Quérqus róbur</i>)			(124,252,0), #7cfc00
7	Тополь (<i>Pópulus álba</i>)			(127,255,0), #7FFF00

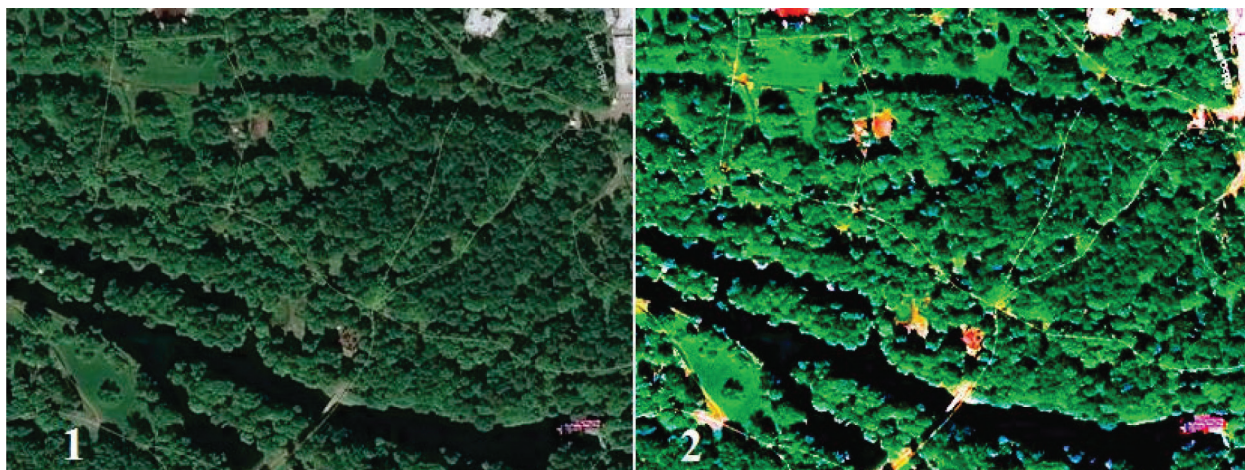


Рис. 1. Исследуемая часть насаждений Елагина острова.
1 – исходный материал, 2 – графическая предобработка материала

*Fig. 1. The investigated part of the forest plantations of Elagin Island.
1 – source material, 2 – graphical material preprocessing*

определение таксационных параметров исходя из полученных данных: форма и цвет кроны, плотность стояния древостоя, характеристики пикселей отдельно взятого элемента [5]. Семантическая связность достигается созданием структуры иерархически упорядоченного древовидного класса объекта, раскрывающей все признаки насаждения. Данному классу должен быть присвоен уникальный идентификатор. В работе ученых [5] схожим образом продемонстрирована экспертная система анализа признаков отдельного дерева. В нашей работе показатели связности объектов и ассоциативных слоев достигаются средствами геоинформационной системы, однако для включения процедуры автоматической обработки необходим интеллектуальный модуль, задача которого состоит в повторении действий оператора и идентификации всех деревьев на анализируемом снимке.

Идентификатор в ГИС AutoCAD Map связывает ассоциативный слой с атрибутами, которые содержат характеристики отдельно рассматриваемого объекта – дерева (рис. 2). Каждый ассоциативный слой, согласно методике ручного дешифрирования, будет принадлежать определенному классу древесной породы. Таким образом, подеревное дешифрирование, в ручном режиме, – важная практическая задача, благодаря данной процедуре формируется надкласс ассоциативных признаков, принадлежащих определенной породе. Пример создания каждого слоя и результата подеревного дешифрирования в нашей работе представлен на рис. 2.

Ручной режим предполагает создание ассоциативного слоя на первоначальном этапе самостоятельно оператором, лицом принимающим решение. Второй уровень связывания ассоциативного

признака с деревом конкретной породы – это морфологические признаки древостоя на обрабатываемом изображении. Оператор устанавливает связь между морфологическими признаками каждой из пород и объектами на снимке. Высокопространственные снимки, полученные с беспилотных летательных аппаратов, обладают таким качеством изображений, при котором хорошо устанавливаются различимые особенности между разными видами древесных пород. Стоит отметить, что среди достаточно большого разнообразия картографических веб-материалов с каждым годом улучшается качество открытых снимков. Так, можно отметить картографический сервис компании Bing, материалы которого, локально, имеют качество, сопоставимое с качеством, полученным при съемке с беспилотных летательных аппаратов. Необходимо отметить, что при работе с локальными проектами, как правило, подготавливается ортофотоплан местности, он позволяет наиболее точно и детализировано оценить все древесные породы при условии, что качество материалов имеет сверхвысокое или высокое пространственное разрешение снимка (рис. 3).

Результаты

В качестве схематического уровня представления данных работы в ГИС представим основные составляющие цикла работ (рис. 3). Практическая задача распознавания сводится к четырем наиболее важным технологическим этапам, от которых будут зависеть результаты инвентаризации насаждений данным методом.

Первый этап. Подготовка материалов для проведения инвентаризации. Использование открытых

С...	Имя	Вкл	З...	Блоки...	П...	Цвет	Тип линий	Вес линий	Прозрачность
110_Ясень_1		☑	☀	📁	☑	194,194,194	Continuous	0.25 мм	40
110_Ясень_2		☑	☀	📁	☑	143,143,143	Continuous	0.25 мм	40
110_Ясень_3		☑	☀	📁	☑	94,94,94	Continuous	0.25 мм	40
111_Осина_1		☑	☀	📁	☑	173,255,235	Continuous	0.25 мм	40
111_Осина_2		☑	☀	📁	☑	0,82,61	Continuous	0.25 мм	40
111_Осина_3		☑	☀	📁	☑	0,158,119	Continuous	0.25 мм	40
112_Черемуха_1		☑	☀	📁	☑	183,108,145	Continuous	0.25 мм	40
112_Черемуха_2		☑	☀	📁	☑	237	Continuous	0.25 мм	40
113_Рябина_1		☑	☀	📁	☑	138,255,138	Continuous	0.25 мм	40
113_Рябина_2		☑	☀	📁	☑	82,163,0	Continuous	0.25 мм	40
114_Ива_1		☑	☀	📁	☑	255,133,255	2_(П)	По умолч...	40
114_Ива_2		☑	☀	📁	☑	250,0,250	2_(П)	По умолч...	40
114_Ива_3		☑	☀	📁	☑	143,0,143	Continuous	0.25 мм	40
115_Вяз_1		☑	☀	📁	☑	255,150,46	Continuous	0.25 мм	40
115_Вяз_2		☑	☀	📁	☑	204,102,0	Continuous	0.25 мм	40
115_Вяз_3		☑	☀	📁	☑	36	Continuous	0.30 мм	40
116_Туя_1		☑	☀	📁	☑	41,255,41	Continuous	0.25 мм	40
118_Плодовые_1		☑	☀	📁	☑	255,156,122	Continuous	По умолч...	40
120_Каштан_1		☑	☀	📁	☑	218,204,245	Continuous	По умолч...	40
120_Каштан_3		☑	☀	📁	☑	154,118,227	Continuous	По умолч...	40
121_Кедр_1		☑	☀	📁	☑	255,143,143	Continuous	0.25 мм	40
123_Яблоня_1		☑	☀	📁	☑	46,93,234	Continuous	По умолч...	40
124_Бархат_1		☑	☀	📁	☑	126,12,35	Continuous	По умолч...	40

Рис. 2. Атрибутивная таблица слоев насаждений в ГИС Autocad Map

Fig. 2. Attribute table of plantation layers in GIS Autocad Map

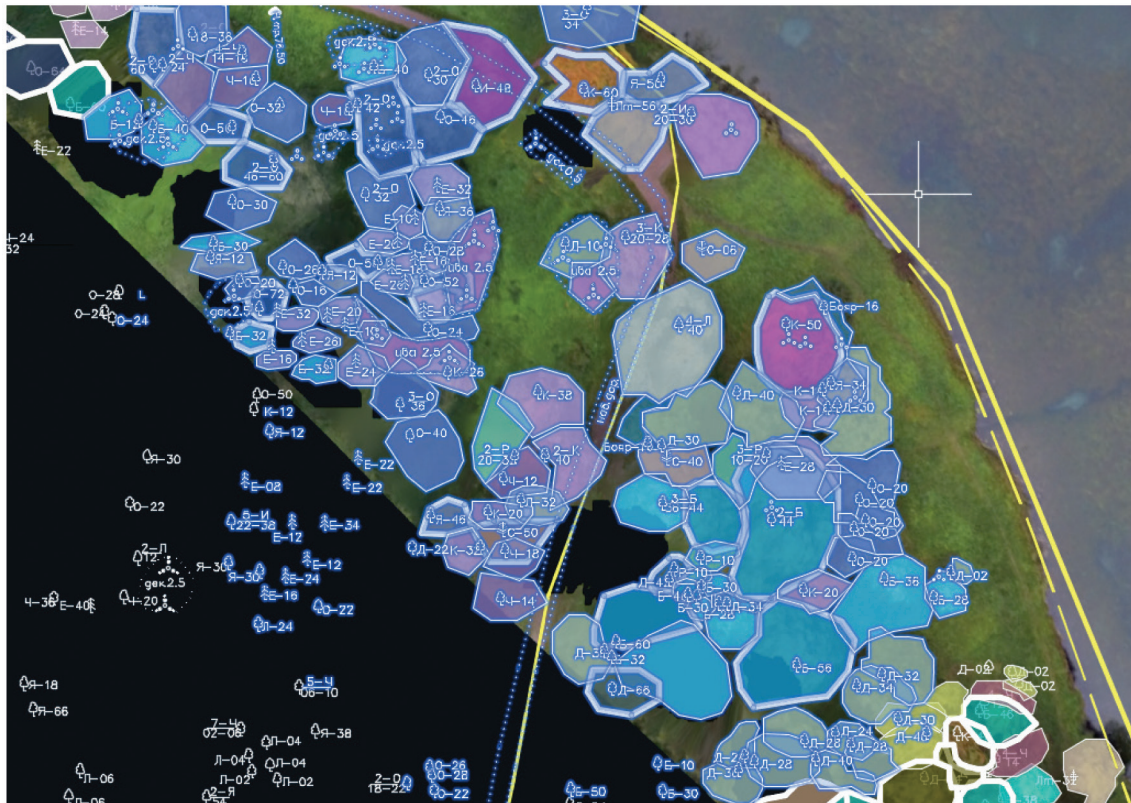


Рис. 3. Процесс подервного дешифрирования в ГИС AutoCAD Map

Fig. 3. The process of tree decoding in GIS AutoCAD Map

источников, использование данных, полученных с БПЛА или заказанными сценами космической съемки.

Второй этап. Формирование базы данных признаков насаждений средствами AutoCAD Map для каждой породы для решения задач садово-паркового хозяйства, наполнение базы данных основных таксационных характеристик всех древесных пород.

Третий этап. Дешифрирование пород. Подготовка и квалификация дешифровщика, в задачи которого будет входить создание ассоциативного слоя на снимке, связанного с дешифрируемой породой. От данного этапа будет зависеть корректность соответствия признаков насаждения с древесной породой. Для того чтобы минимизировать ошибки дешифрирования, на этапе подготовки необходимо провести полевую коррекцию на соответствие отдешифрованных пород с характеристиками в натуре.

Четвертый этап. Процедура распознавания должна иметь контрольные точки сохранения алгоритма процесса дешифрирования, это необходимо для того, чтобы возможно было применить итоговый шаблон процедуры для другой местности, с другими видами древесных пород. В таком случае в данной методике оператору необходимо изменить породы распознавания и цветовые переменные в системе RGB, процедура обработки материалов для другой местности будет выполняться аналогичным образом, согласно схеме (рис. 4).

Заключение

Результатом работ инвентаризации насаждений Елагина острова, г. Санкт-Петербург, является создание динамической интерактивной карты, которая содержит в себе структурированную информацию о характеристиках как отдельных деревьев, так и насаждений в целом (рис. 2). В результате проведенной научно-практической работы следует сделать следующие выводы:

1. Развитие методов автоматизация процессов дешифрирования насаждений имеет практический потенциал для использования их в задачах инвентаризации насаждений парков.
2. Геоинформационная система AutoCad Map способна обеспечить поддержку в системе принятий решений оператору и позволяет наполнить необходимыми атрибутами проект.
3. Потенциальные возможности данной отрасли научно-технологических решений могут принести значительный вклад в дистанционные методы изучения растительности и подеревной таксации насаждений.
4. В качестве упрощения процессов дешифрирования необходима разработка интеллектуального модуля анализа растительности на уровне отдельно рассматриваемой породы. Процесс машинного обучения можно улучшить, используя не только сопоставительный анализ, основанный на логике предикатов, но и применяя технологию многоканальной обработки данных на основе технологий глубокого обучения и нейросетевого анализа данных.

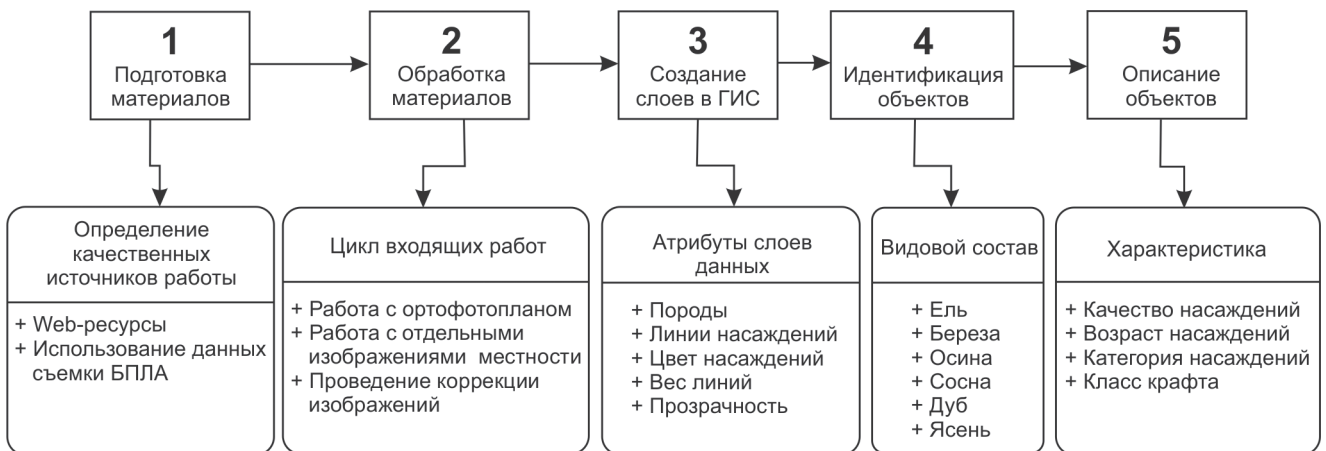


Рис. 4. Этапы работ в геоинформационной системе

Fig. 4. Stages of work in the geographic information system

ЛИТЕРАТУРА

1. Vagizov M.R., Ustyugov V.A., Kvochkin D.O. Determination of the forest inventory indicators according to the photographs of the unmanned aerial vehicles // Ecology, Environment and Conservation. – 2017. – V. 23, Issue 1. – P. 582-586.
2. Истомин Е.П., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Сидоренко А.Ю. Концептуальная модель обработки данных дистанционного зондирования земли в интересах управления территориями // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2020. – № 1 (37). – С. 195-205.
3. Степанов С.Ю., Петров Я.А., Сидоренко А.Ю. Геопространственный региональный анализ фотосинтетически активной биомассы по данным дистанционного зондирования земли // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2020. – № 1 (37). – С. 186-194.
4. Вагизов М.Р. О концепции цифровой таксации лесов // Вопросы развития современной науки и практики в период становления цифровой экономики : мат-лы Международной научно-практической конференции / сост. и отв. ред.: В.М. Гедьо, О.А. Полянская, С.В. Терещенко, А.В. Калугина. – 2018. – С. 25-28.
5. Кравченкова И.С., Хабаров С.П., Кривицкий С.В. Разработка экспертной системы определителя древесных и кустарниковых пород по листьям // Цифровые технологии в лесном секторе : мат-лы Всероссийской научно-технической конференции. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова ; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – С. 83-86.
6. Жернова А.П., Вагизов М.Р. Разработка методики автоматизированного дешифрирования Ели европейской (*Picea abies*) с использованием геоинформационных технологий и машинного обучения // Информационные системы и технологии: теория и практика : сб. науч. тр. – Вып. 12 / отв. ред. А.М. Заяц. – Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2020. – 138 с. – С. 52-56.

REFERENCES

1. Vagizov M.R., Ustyugov V.A., Kvochkin D.O. Determination of the forest inventory indicators according to the photographs of the unmanned aerial vehicles // Ecology, Environment and Conservation. 2017. V. 23, Issue 1. P. 582-586.
2. Istomin E.P., Stepanov S.Yu., Petrov Ya.A., Sidorenko A.Yu. The conceptual model for processing Earth remote sensing data in the interests of territorial management // Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2020. No. 1 (37). P. 195-205.
3. Stepanov S.Yu., Petrov Ya.A., Sidorenko A.Yu. Geospatial Regional Analysis of Photosynthetically Active Biomass Based on Remote Sensing Data // Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2020. No. 1 (37). P. 186-194.
4. Vagizov M.R. On the concept of digital forest inventory // Questions of the development of modern science and practice during the formation of the digital economy : Materials of the International Scientific-Practical Conference / comp. and responsible ed.: V.M. Guyot, O.A. Polyanskaya, S.V. Tereshchenko, A.V. Kalugin. 2018. P. 25-28.
5. Kravchenkova I.S., Khabarov S.P., Krivitskiy S.V. Development of an expert system for the identification of tree and shrub species by leaves // Digital technologies in the forestry sector : Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference. Saint-Petersburg State Forest Technical University ; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 2020. P. 83-86.
6. Zhernova A.P., Vagizov M.R. Development of a technique for automated decoding of European Spruce (*Picea abies*) using geoinformation technologies and machine learning // Information systems and technologies: theory and practice: collection of proceedings. Issue 12 / responsible ed. A.M. Zayats. St. Petersburg : SPbGLTU, 2020. 138 p. P. 52-56.

Информация об авторах

Вагизов Марсель Равильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий, Институт леса и природопользования ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова». 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5. E-mail: bars-tatarin@yandex.ru.

Степанов Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики, Институт информационных систем и геотехнологий ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет». 192007, г. Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79. E-mail: stepanov.sergey.y@gmail.com.

Петров Ярослав Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики, Институт информационных систем и геотехнологий ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет». 192007, г. Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79. E-mail: yaroslav.petrov025@gmail.com.

Сидоренко Артем Юсупович, старший преподаватель кафедры прикладной информатики Институт информационных систем и геотехнологий ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет». 192007, г. Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79. E-mail: sidorenko.ref@gmail.com.

Information about authors

***Vagizov Marsel Ravilievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Institute of Forest and Nature Management Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov». 5 Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia. E-mail: bars-tatarin@yandex.ru.*

***Stepanov Sergey Yuryevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics, Institute of Information Systems and Geotechnologies, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «Russian State Hydrometeorological University». 79 Voronezhskaya ul., St. Petersburg, 192007, Russia. E-mail: stepanov.sergey.y@gmail.com.*

***Petrov Yaroslav Andreevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics, Institute of Information Systems and Geotechnologies, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «Russian State Hydrometeorological University». 79 Voronezhskaya ul., St. Petersburg, 192007, Russia. E-mail: yaroslav.petrov025@gmail.com.*

***Sidorenko Artyom Yusupovich**, Senior Lecturer, Department of Applied Informatics Institute of Information Systems and Geotechnologies, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «Russian State Hydrometeorological University». 79 Voronezhskaya ul., St. Petersburg, 192007, Russia. E-mail: sidorenko.ref@gmail.com*