

СТАЦИОНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ РЕСПУБЛИКИ УДМУРТИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ РАДАРНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ И ТАКСАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НАСАЖДЕНИЙ**Хамидуллина Г. Р., Закиров Г. Д., Сахнов В. В., Ильин Ф. С., Сидоренков В. М.**

Реферат. В статье приведены общие понятия радарной спутниковой съемки, возможные варианты ее использования в интересах лесного хозяйства. На основе анализа литературных источников сделаны выводы об основных ее преимуществах перед другими способами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Обоснована необходимость более широкого распространения различных эффективных методик на базе радарных и других спутниковых данных для упрощения и увеличения оперативности оценки лесных насаждений, а также сбора уникальных прецизионных данных, который в наземных условиях невозможен. В южно-таежной природно-климатической зоне Республики Удмуртия в различных формациях лесов и лесорастительных условиях заложены 25 пробных площадей (ПП). Типичные насаждения района исследований имеют в основном смешанный породный состав. Преобладающее количество ПП заложено в сосняках и ельниках кисличниках (36 % и 20 % соответственно). Остальные были распределены в сосняках (черничниках, снытьевых, широколиственных, приручьевых) и ельниках (снытьевых, широколиственных, приручьевых). На долю средневозрастных и прироста насаждений приходится 48 % и 44 % ПП соответственно. Перестойные насаждения сосновых и еловых формаций не попадались. Молодняки оказались сплошь заросшими. Наибольшая часть изученных насаждений расположена в лесорастительных условиях С₃ (64 % количества ПП), Д₃ (12 %), а также Д₂, Д₄ и С₄ (по 8 %). Результаты полевых исследований отражают общую динамику распределения лесов на территории Республики Удмуртия в подзоне южной тайги. Материал подготовлен для дальнейшего дешифрирования и разработки алгоритмов получения таксационных характеристик лесов с использованием радарных спутниковых снимков.

Ключевые слова: таксационная характеристика лесов, дистанционное зондирование земли, радарная спутниковая съемка, дешифрирование.

Введение. Использование аэро- (с 20-х гг.) и космической съемки (с 70-х гг.) входит в основу современных методов изучения лесов. За прошедшие годы собрано большое количество данных в самых разных диапазонах: в ультрафиолетовом, видимом (оптическом), инфракрасном, радио и микроволновом (СВЧ) с разрешением на местности от 0,1 м до 1000 м.

Один из методов дистанционного изучения земной поверхности и эффективный способ сбора информации о лесах на труднодоступных территориях – радиолокационная или радарная спутниковая съемка.

На сегодняшний день действует множество радарных спутников, решающих различные задачи, отличающихся по параметрам и диапазонам съемки. В основном они коммерческие, но есть и общедоступные радарные данные со спутника Sentinel-1, которые находятся в центре открытого доступа Copernicus [1].

Высокая периодичность космической съемки позволяет организовать круглогодичный мониторинг обширных территорий. Однако при этом возникает задача эффективной обработки большого объема информации, сбора максимально точных и оперативных данных [2].

Среди возможных вариантов использования материалов радарной съемки в интересах лесного хозяйства можно назвать следующие: всепогодный мониторинг природных воздействий (ветровалов и буреломов), сплошные и выборочные вырубку леса; картографирование почвенного покрова [3, 4], определение

контуров выгоревших участков леса (гарей) [5] и отдельных таксационных характеристик насаждений [6, 7]. Предпринимались попытки разработки технологии использования радарных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для картирования количественных параметров леса (высоты деревьев в метрах, диаметров стволов в сантиметрах, запасов древесины и хвойных/лиственных пород леса в кубометрах на 1 га) [4].

Для лесной таксации необходимы как можно более точные данные интересующего лесного массива при дешифрировании спутниковых радарных снимков.

Цель исследований – подготовить материал с признаками различия насаждений, необходимый для разработки алгоритмов получения таксационных характеристик лесов с использованием радарных спутниковых снимков.

Условия, материалы и методы исследований. Для достижения поставленной цели был организован комплекс полевых работ с закладкой стационарных участков в южно-таежной зоне Западной Сибири, проведен сбор материалов экспериментальных исследований с использованием признаков различия насаждений.

Исходными данными служили фондовые материалы результатов исследований, а также данные литературных и интернет источников по опыту использования космических снимков в области лесоучетных работ, материалы по инвентаризации лесов в районах исследований.

На первом этапе были проанализированы литературные источники, отражающие опыт использования космических радарных снимков в области лесоучетных работ. Их подбор осуществляли по результатам просмотра популярных научных сайтов и электронных библиотек с выбором наиболее часто встречающихся и высокоцитируемых авторов, деятельность которых непосредственно связана с исследуемой проблемой.

Для закладки пробных площадей (ПП) были выбраны выделы в Парзинском и Белорецком участковых лесничествах Глазовского лесничества Республики Удмуртия. Количество и место закладки ПП определяли с учетом анализа материалов лесоустройства на основании сведений о породном составе, классе возраста, лесорастительным условиям, доминирующих и коренных формациях лесов и степени воздействия на них природных и антропогенных факторов, а также результатов изучения топографических карт и оптических спутниковых снимков с геопорталов Яндекс и Google.

ПП закладывали в насаждениях типичных для региональных природных условий в пределах выдела. Участки под них выбирали относительно однородные по почвенно-грунтовым и таксационным характеристикам насаждений, на которых проводили сходные мероприятия по использованию, охране, защите и воспроизводству лесов.

Закладку осуществляли реласкопическими круговыми площадками с использованием призмы Анучина, в соответствии с требованиями Лесостроительной инструкции [8, 9]. Центры площадок и почвенные прикопки на них привязывали к системе координат с помощью навигационного приемника GPSMAP 66ST с минимальной погрешностью – 3 м.

Перечет деревьев проводили по ярусам и породам. Учет жизнеспособности деревьев осуществляли по 7 категориям [10].

В зависимости от расположения деревьев в пологе их относили к трем категориям: в зоне хорошей видимости, условной видимости и не в зоне видимости [11, 12].

Возраст деревьев определяли с использованием кернов, взятых приростным буром около шейки корня или на высоте 1,3 м. Во втором случае к результатам измерений добавляли примерный средний возраст, в котором дерево достигает высоты 1,3 м.

Лесоучетные работы в молодняках, а также учет подроста, подлеска и живого напочвенного покрова проводили в соответствии с Лесостроительной инструкцией [8, 9], методом круговых площадок постоянной радиуса 1,78 м (10 м²). Деревья в молодняках и подрост учитывали по высотным категориям. Показатель жизнеспособности определяли только у целевых пород. Учет второстепенных пород осуществляли только по количеству в высотных группах. На основе результатов учета определяли состав молодняков или подроста,

количество деревьев различных пород на 1 га (тыс. шт.), среднюю высоту, возраст и категорию жизнеспособности целевых пород. При описании подлеска указывали основные виды кустарников, их густоту (количество на 1 га): густой – более 5 тыс. шт./га; средней густоты – 2...5 тыс. шт./га; редкий – до 2 тыс. шт./га.

Тип леса и лесорастительных условий устанавливали по таким диагностическим признакам, как рельеф, почвенно-грунтовые характеристики, наличие травянистых растений и кустарников. С целью точного определения лесорастительных условий в пределах каждой ПП закладывали прикопку с морфологическим описанием почвы. Исследование почвы осуществляли согласно методическим указаниям [13].

Обработку результатов исследований проводили в соответствии с действующими методиками [8, 9].

Анализ и обсуждение результатов исследований. Дистанционные методы сбора информации о лесах позволяют создавать системы быстрого мониторинга ситуации, особенно на территориях с интенсивным антропогенным и природным воздействием. Однако на сегодняшний день применение современных методов таксации лесов с использованием данных ДЗЗ в практике лесного хозяйства ограничено [14, 15]. Необходимо более широкое распространение различных эффективных методов дистанционного зондирования на основе радарных и других спутниковых данных для упрощения и увеличения оперативности оценки лесных насаждений, а также сбора уникальных прецизионных данных, который в наземных условиях невозможен.

На основании анализа литературных источников по использованию радарных спутниковых данных при инвентаризации и оценке леса, можно сделать следующие выводы.

Радиолокационную съемку можно проводить с постоянной периодичностью в любой сезон, при любой погоде и днём, и ночью, что очень важно при непрерывном или оперативном наблюдении. К положительным аспектам также относят возможность съемки без непосредственного полета над объектом, большую полосу захвата на местности при малой высоте полета, обнаружение объектов по их радиолокационным, а не оптическим контрастам [16].

Использование спутниковых радарных данных при определении количественных и качественных параметров леса позволяет сократить затраты и собирать необходимые сведения намного быстрее, чем при наземном обследовании [15].

Радарные спутниковые снимки в комплексе комбинаций разных диапазонов дают наиболее точную и достоверную информацию о лесных землях [17, 18, 19].

При анализе и дешифрировании радарных спутниковых снимков существует необходимость проведения натурального обследования

исследуемых лесных насаждений, закладки пробных площадей и составления подробного таксационного описания. Это неотъемлемая часть конечных результатов [14, 20].

Дешифрирование спутниковых снимков для оперативного получения данных должен быть автоматизирован [21].

На сегодняшний день на основе результатов радарной спутниковой съемки определяют такие параметры насаждений, как полнота и запас, средняя высота и диаметр различных ярусов древостоя, класс бонитета, структура, сомкнутость, густота, породный состав [22, 23, 24].

Для достижения поставленной цели было заложено 25 ПП. На каждой из них делали несколько фотоснимков древостоя с разных ракурсов, подроста и подлеска, напочвенного покрова, а также почвенного разреза с мерной лентой, растянутой по профилю почв.

Результаты распределения участков по лесорастительным условиям и типам леса, а также их составу и запасам свидетельствуют о том, что преобладающее количество ПП заложено в сосняках и ельниках кисличниках (36 % и 20 % соответственно). Остальные бы-

ли распределены в сосняках (черничниках, снытьевых, широколиственных, приручевых) и ельниках (снытьевых, широколиственных, приручевых) других типов.

Наибольшая часть изученных насаждений расположена в лесорастительных условиях С₃ (64 %), Д₃ (12 %), Д₂, Д₄ и С₄ (по 8 %). Результаты полевых исследований отражают общую динамику распределения лесов на территории Удмуртской Республики в подзоне южной тайги.

Подавляющее большинство обследуемых участков относится к средневозрастной (48 %) или приспевающей (44 %) группе возраста. В чистых молодняках была заложена только одна площадка, это самосев сосны 25-летнего возраста на брошенных сельскохозяйственных угодьях. Все молодняки ели и сосны оказались заросшими второстепенными породами. Перестойные насаждения сосновых и еловых формаций не обнаружены. Заложено только один участок в перестойном березовом лесу.

Типичные насаждения района исследования имеют в основном смешанный породный состав, на которые приходится большая часть ПП, однородные по составу встречаются ред-

Таблица – Распределение ПП по группам возраста, лесорастительным условиям и типам леса

№ ПП	Состав	Запас, м ³ /га	Группа возраста	Тип леса	Лесо-растительные условия	
1	10С едБ	356,8	средневозрастные	сосняк кисличник	С ₃	
2	1 ярус 10С	330,6				
	2 ярус 10Е	118,5				
14	5С5Е+Б	358,3				
25	1 ярус 4С3Е3Ос+П	291,8				
	2 ярус 8Е2П	73,5				
22	3С(100)3С(75)3Е1Ос	464,4	приспевающие + средневозрастные			
5	9С1Е	339,4	приспевающие	сосняк черничник	С ₃	
6	1 ярус 9С1Е	606,9				
	2 ярус 8Е2П	119,3				
8	10С	379,4				
17	4С4Е1Ос1Б+П	429,4				
21	6С4Е	351,9		сосняк снытьевый	Д ₃	
23	10С едБ	87,5	молодняки			
15	10С едЕедБ	240,0	средневозрастные	сосняк широколиственный	С ₃	
11	8Б2Е	195,6	приспевающие	сосняк приручевой	С ₄	
12	9Б1Е	220,3				
7	6Е2С2Ос+П+Б	316,7	средневозрастные	ельник кисличник	С ₃	
9	8Е2С	377,5				
10	7Е3С	425,1				
13	9Е1С	644,1				
20	7Е3С едБ	349,1	приспевающие			
3	1 яр. 7Е2П1С+Б	234,6	средневозрастные	ельник снытьевый	Д ₂	
	2 яр. 8Лп1Е1П	126,6				
4	8Е2П едЛп	324,0			ельник широколиственный	Д ₃
16	8Е2С	291,2				
19	4Е4Б2Ос едС	255,0				
18	7Ос2Б1П едЕ	251,9	приспевающие	ельник приручевой	Д ₄	
24	10Б	190,2	перестойные			

ко, в основном это культурные посадки или березняки.

Выводы. Применение спутниковых радарных данных в области изучения лесных ресурсов имеет большой потенциал. Преимущество этого вида съемки заключается в независимости от времени суток и метеоусловий; большом охвате территории и постоянной периодичности, которые открывают возможности для непрерывного и оперативного мониторинга; уникальности данных, которые нельзя получить при других видах съемки. Однако наличие геометрических искажений и специфичность радарных снимков вызывают определенные затруднения при их обработке, они имеют большой объем, что затрудняет их дешифрирование. Известно много методик определения тех или иных лесных параметров на основе спутниковых снимков разных диапазонов и в различных сочетаниях, однако конкретных эффективных методов определения таксационных показателей по данным радарной спутниковой съемки не найдено.

В результате проведенных полевых иссле-

дований в целом удалось собрать необходимый материал с использованием признаков различия насаждений для дальнейшего дешифрирования. Однако в связи с давностью сроков лесоустройства (1996 г.), а также наличием ошибок и неточностей в таксационном описании выборка участков оказалась приблизительной. Поэтому после камеральной обработки выяснилось, что некоторые участки имеют схожие лесорастительные условия и тип леса, в отличие от того, что было указано в таксационном описании. В итоге несколько участков характеризовались одинаковыми условиями с некоторыми различиями в породном составе, полноте и запасах, что позволит подтвердить результаты дальнейшего дешифрирования.

Еще одним недостатком стало то, что практически не были охвачены молодняки, так как из-за отсутствия необходимых мероприятий по уходу они оказались заросшими. На этих участках также необходимо заложить пробные площади.

Литература

1. Copernicus Open Access Hub [Электронный ресурс], URL: <https://scihub.copernicus.eu/> (дата обращения 19.03.2019).
2. Никитина Ю. В., Никитин В. Н. Разработка методики автоматизированного дешифрирования многозональных космических снимков среднего разрешения для определения породного состава лесных насаждений // ГЕО СИБИРЬ. 2011. Т. 3, № 2. С. 187–190.
3. Дворкин Б. А. Международный конкурс на лучший тематический проект по обработке и использованию радарных данных для решения задач в различных областях народного хозяйства // Геоматика: электрон. журн. 2012. № 1. С. 12–17. URL: <https://sovzond.ru/upload/uf/3e5/3e59f9af3ac9cdafe5bf57046f2bdfc0.pdf> (дата обращения 19.03.2019).
4. Разработка технологии использования радарных данных ДЗЗ для картирования количественных параметров леса и всепогодного мониторинга сплошных и выборочных вырубок леса. URL: <https://sovzond.ru/projects/2066/> (дата обращения 20.03.2019).
5. Использование данных дистанционного зондирования в задачах лесной отрасли / В. А. Хамедов, В. Н. Копылов, Ю. М. Полищук и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2006. Т. 3. № 2. С. 380–387.
6. Технология количественной оценки высоты леса по данным космических радарных тандемных интерферометрических съемок со спутников TerraSAR-X/TanDEM-X / Т. Н. Чимитдоржиев, М. Е. Быков, Ю. И. Кантемиров и др. // Геоматика. 2014. № 1. С. 72–79.
7. Определение биомассы леса с использованием спутниковых радарных данных / Б. З. Цыдыпов, И. И. Кирбижекова, Б. Ч. Доржиев и др. // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2010. № 3(20). С. 79–86.
8. ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Методы закладки, 1983. М.: ЦБНТИ лесхоз, 1984. 60 с.
9. Приказ Минприроды России от 29.03.2018 № 122 «Об утверждении лесоустроительной инструкции» (Зарегистрировано в Минюсте России 20.04.2018 № 50859). URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/39244> (дата обращения 23.03.2019).
10. Желдак В.И. Программа НИР по теме 3.1/1 «Разработка экологически безопасных и экономически эффективных региональных систем ведения лесного хозяйства и технологий, обеспечивающих повышение продуктивности и устойчивости лесов». Пушкино: ВНИИЛМ, 2001. 79 с.
11. Подмаско Б. И. Методическое руководство по закладке таксационно-дешифровочных участков для целей камерального дешифрирования аэрофотоснимков. М.: ВНИИЛМ, 1974. 28 с.
12. Самойлович Г. Г. Полевая практика работы с аэроснимками при таксации леса. Ленинград: Лесотехническая академия имени С.М. Кирова, 1967. 73 с.
13. Газизуллин А. Х. Методические указания к лабораторно-практическим занятиям по почвоведению. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2010. 27 с.
14. Архипов В. И., Черниковский Д. М., Березин В. И. Современная технология таксации лесов дешифровочным способом «от съемки - к проекту» // Известия СПбЛТА. 2014. № 3 (Вып. 208). С. 22–42
15. Швиденко А. З. Глобальные изменения и российская лесная таксация // Лесная таксация и лесоустройство. 2012. № 1(47). С. 52–76.
16. Виды съемок в зависимости от используемой аппаратуры и спектрального диапазона. URL: <https://mylektsii.ru/2-7378.html> (дата обращения 23.02.2019).
17. Fernandez-Ordonez Y., Soria-Ruiz J., Leblon B. Forest Inventory using Optical and Radar Remote Sensing. URL: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-geoscience-and-remote-sensing/forest-inventory-using-optical-and-radar-remote-sensing>, (дата обращения 03.04.2019).

18. Никольский Д. Б. Методы обработки радиолокационных данных. URL: <http://geomatiga.ru/clauses/48/> (дата обращения 12.03.2019).
19. Хамедов В. А. Разработка методики мониторинга лесных земель на основе космических снимков оптического и радарного диапазонов: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Новосибирск, 2016.
20. Лабутина И. А., Балдина Е. А. Практикум по курсу «Дешифрирование аэрокосмических снимков»: учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2013. 168 с.
21. Хлюстов В. К., Хлюстов Д. В. Современные технологии дистанционного зондирования и информационные справочные системы Земли лесотаксационных нормативов – основные элементы автоматизации комплексной инвентаризации древесных ресурсов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013. Т. 8. С. 29-35.
22. Persson H. Estimation of Forest Parameters Using 3D Satellite Data. URL: https://pub.epsilon.slu.se/11658/1/persson_h_141119.pdf (дата обращения 29.03.2019).
23. Чинь Л.Х. Методы дешифрирования растительности на основе космических радиолокационных изображений // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2011. № 6. С. 238-242.
24. Polarimetric Decomposition of SAR Data for Forest Structure Assessment. URL: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/181947/181947.pdf> (дата обращения 04.04.2019).

Сведения об авторах:

Хамидулина Гулия Радисовна – аспирант, e-mail: gulia-24-03g@mail.ru
 ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия
 Закиров Герман Динарович – инженер, e-mail: zakirov@vniilm.ru
 Сахнов Владимир Васильевич – кандидат биологических наук, руководитель группы лесных культур
 Ильин Федор Степанович – кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель группы лесоводства
 Филиал ФБУ ВНИИЛМ «Восточно-европейская лесная опытная станция», г. Казань, Россия
 Сидоренков Виктор Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной и инновационной работе
 ФБУ ВНИИЛМ, г. Пушкино, Россия.

STATIONARY RESEARCHES IN THE SOUTH TAIGA ZONE OF THE REPUBLIC OF UDMURTIA FOR THE DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR DETERMINING THE RELATIONSHIPS BETWEEN THE RADAR SATELLITE SHOWING INDICATORS AND TAXATION CHARACTERISTICS

Khamidullina G.R., Zakirov G.D., Sakhnov V.V., Ilin F.S., Sidorenkov V.M.

Abstract. The article describes the general concepts of radar satellite imagery, possible options for its use in the interests of forestry. Based on the analysis of literary sources, conclusions are drawn about its main advantages over other methods of remote sensing of the Earth. The necessity of wider dissemination of various effective techniques based on radar and other satellite data is substantiated to simplify and increase the efficiency of forest stand assessment, as well as to collect unique precision data, which is impossible under ground conditions. In the southern taiga natural-climatic zone of the Republic of Udmurtia in various forest formations and forest conditions, 25 plots of land have been laid. Typical plantings of the research area have mainly mixed breed composition. The predominant amount of plots of land is found in pine forests and spruce fir forests (36% and 20%, respectively). The rest were distributed in pine forests (blueberries, chickens, broad-grass, tame) and spruce forests (chickens, broad-grass, tame). Middle-aged and maturing plantations account for 48% and 44% of plots of land, respectively. The overripe plantations of pine and spruce formations were not found. Young growths were completely overgrown. Most of the studied stands are located in forest conditions C₃ (64% of the amount of PP), D₃ (12%), as well as D₂, D₄ and C₄ (8% each). The results of field studies reflect the general dynamics of the distribution of forests in the Republic of Udmurtia in the subzone of southern taiga. The material was prepared for further decoding and development of algorithms for obtaining forest taxation characteristics using radar satellite imagery.

Key words: taxation characteristics of forests, remote sensing of the earth, radar satellite imagery, interpretation.

References

1. Copernicus Open Access Hub. Available at: <https://scihub.copernicus.eu/> (date of access 19.03.2019).
2. Nikitina Yu.V., Nikitin V.N. *Razrabotka metodiki avtomatizirovannogo deshifirovaniya mnogozonalnykh kosmicheskikh snimkov srednego razresheniya dlya opredeleniya porodnogo sostava lesnykh nasazhdeniy.* // GEO SIBIR. [Development of a technique for automated interpretation of multizone satellite images of medium resolution to determine the species composition of forest stands // GEO SIBERIA]. 2011. Vol. 3, No 2. P. 187–190.
3. Dvorkin B. A. *Mezhdunarodnyy konkurs na luchshiy tematicheskii projekt po obrabotke i ispolzovaniyu radarnykh dannykh dlya resheniya zadach v razlichnykh oblastiakh narodnogo khozyaystva.* // Geomatika: elektron. zhurn. (International competition for the best thematic project on the processing and use of radar data to solve problems in various fields of the national economy. // Geomatics: electronic journal). 2012. No 1. P. 12-17. Available at: <https://sozond.ru/upload/uf/3e5/3e59f9af3ac9cdafe5bf57046f2bdfc0.pdf> (date of access 19.03.2019).
4. *Razrabotka tekhnologii ispolzovaniya radarnykh dannykh DZZ dlya kartirovaniya kolichestvennykh parametrov lesa i vsepogodnogo monitoringa sploshnykh i vyborochnykh vyrubok lesa.* (Development of technology for the use of remote sensing radar data for mapping quantitative forest parameters and all-weather monitoring of continuous and selective deforestation). Available at: <https://sozond.ru/projects/2066/> (date of access 20.03.2019).
5. *Ispolzovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniya v zadachakh lesnoy otrasli.* // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa.* [The use of remote sensing data in the tasks of the forest industry. / V.A. Khamedov, V.N. Kopylov, Yu.M. Polischuk and others // Modern problems of remote sensing of the earth from space]. 2006. Vol. 3. № 2. P. 380-387.
6. Technology for the quantitative estimation of forest height according to space radar tandem interferometric images from TerraSAR-XTanDEM-X satellites. [Tekhnologiya kolichestvennoy otsenki vysoty lesa po dannym kosmicheskikh radarnykh tandemnykh interferometricheskikh semok so sputnikov TerraSAR-XTanDEM-X]. / T.N. Chimitdorzhiev, M.E. Bykov, Yu.I. Kantemirov and others. // *Geomatika. – Geomatika.* 2014. № 1. P. 72–79.
7. Determination of forest biomass using satellite radar data. [Opredelenie biomassy lesa s ispolzovaniem sputnikovykh radarnykh dannykh]. / B.Z. Tsydygov, I.I. Kirbizhekova, B.Ch. Dorzhiev and others. // *Vestnik Buryatskoy*

gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova. – *The herald of Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov*. 2010. № 3(20). P. 79-86.

8. OST 56-69-83. *Probnye ploschadi lesoustroitelnye. Metody zakladki*. [Trial areas are forest inventory. Bookmarking methods]. 1983. M.: TsBNTI leskhoz, 1984. P. 60.

9. *Prikaz Minprirody Rossii ot 29.03.2018 № 122 “Ob utverzhdenii lesoustroitelnoy instruktsii” (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 20.04.2018 № 50859)*. (Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated March 29, 2018 No. 122 “On approval of the forest inventory instruction” (Registered in the Ministry of Justice of Russia on April 20, 2018 No. 50859). Available at: <https://minjust.consultant.ru/documents/39244> (date of access 23.03.2019).

10. Zheldak V.I. *Programma NIR po teme 3.1/1 “Razrabotka ekologicheski bezopasnykh i ekonomicheski effektivnykh regionalnykh sistem vedeniya lesnogo khozyaystva i tekhnologii, obespechivayuschikh povyshenie produktivnosti i ustoychivosti lesov”*. (The research program on the topic 3.1 / 1 “Development of environmentally friendly and cost-effective regional forest management systems and technologies to increase the productivity and sustainability of forests). Pushkino: VNIILM, 2001. P. 79.

11. Podmasko B.I. *Metodicheskoe rukovodstvo po zakladke taksatsionno-deshifrovochnykh uchastkov dlya tseye kameralnogo deshifirovaniya aerofotosnimkov*. (Methodological guidance on the laying of taxation-decryption sections for the purpose of desk interpretation of aerial photographs). M.: VNIILM, 1974. P. 28.

12. Samoylovich G.G. *Polevaya praktika raboty s aerosnimkami pri taksatsii lesa*. [Field practice of working with aerial photographs during forest taxation]. Leningrad: Lesotekhnicheskaya akademiya imeni S.M. Kirova, 1967. P. 73.

13. Gazizullin A.Kh. *Metodicheskie ukazaniya k laboratorno-prakticheskim zanyatiyam po pochvovedeniyu*. [Methodological guidelines for laboratory and practical studies in soil science]. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2010. P. 27.

14. Arkhipov V. I., Chernikhovskiy D. M., Berezin V. I. Modern technology of forest taxation by decryption method “from survey to project”. [Sovremennaya tekhnologiya taksatsii lesov deshifrovochnym sposobom “ot semki - k proektu”]. // *Izvestiya SPbLTA. – The herald of St. Petersburg State Forestry University*. 2014. № 3 (Issue 208). P. 22-42

15. Shvidenko A. Z. Global changes and Russian forest taxation. [Globalnye izmeneniya i Rossiyskaya lesnaya taksatsiya]. // *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo. - Forest taxation and forest management*. 2012. № 1(47). P. 52-76.

16. *Vidy semok v zavisimosti ot ispolzuyemykh apparatury i spektralnogo diapazona*. (Types of shooting depending on the equipment used and the spectral range). Available at: <https://mylektsii.ru/2-7378.html> (date of access 23.02.2019).

17. Fernandez-Ordenez Y., Soria-Ruiz J., Leblon B. Forest Inventory using Optical and Radar Remote Sensing. Available at: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-geoscience-and-remote-sensing/forest-inventory-using-optical-and-radar-remote-sensing>, (дата обращения 03.04.2019).

18. Nikolskiy D.B. *Metody obrabotki radiolokatsionnykh dannykh*. (Methods for processing radar data). Available at: <http://geomatika.ru/clauses/48/> (date of access 12.03.2019).

19. Khamedov V.A. *Razrabotka metodiki monitoringa lesnykh zemel na osnove kosmicheskikh snimkov opticheskogo i radarnogo diapazonov: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk*. (Development of a methodology for monitoring forest lands based on satellite images of the optical and radar ranges: dissertation for the degree of Ph.D. of Technical sciences). Novosibirsk, 2016.

20. Labutina I.A., Baldina E.A. *Praktikum po kursu “Deshifirovanie aerokosmicheskikh snimkov”*: *uchebnoe posobie*. [Workshop on the course “Interpretation of aerospace images”: a training manual]. M.: Geograficheskiy fakultet MGU, 2013. P. 168.

21. Khlyustov V. K., Khlyustov D. V. *Sovremennye tekhnologii distantsionnogo zondirovaniya i iformatsionnye spravochnye sistemy zemli lesotaksatsionnykh normativov – osnovnye elementy avtomatizatsii kompleksnoy inventarizatsii drevesnykh resursov*. // *Interexpo Geo-Sibir*. [Modern technologies of remote sensing and informational reference systems of the Earth of forest taxation standards - the main elements of automation of a comprehensive inventory of wood resources. // *Interexpo Geo-Siberia*]. 2013. Vol. 8. P. 29-35.

22. Persson H. Estimation of Forest Parameters Using 3D Satellite Data. Available at: https://pub.epsilon.slu.se/11658/1/persson_h_141119.pdf (date of access 29.03.2019).

23. Chin L.Kh. *Metody deshifirovaniya rastitelnosti na osnove kosmicheskikh radiolokatsionnykh izobrazheniy*. // *Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2011. № 6. P. 238-242.

24. Polarimetric Decomposition of SAR Data for Forest Structure Assessment. Available at: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/181947/181947.pdf> (date of access 04.04.2019).

Authors:

Khamidullina Guliya Radisovna - graduate student, e-mail: gulia-24-03g@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

Zakirov German Dinarovich - engineer, e-mail: zakirov@vniilm.ru

Sakhnov Vladimir Vasilevich – Ph.D. of Biological sciences, head of the group of forest crops.

Ilin Fedor Stepanovich – Ph.D. of Agricultural sciences, head of the forestry group

Branch of “East European Forest Experimental Station”, Kazan, Russia.

Sidorenkov Viktor Mikhaylovich - Ph.D. of Agricultural sciences, deputy director for scientific and innovative work
VNIILM, Pushkino, Russia.