

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 528.94: 621.396.33:528.8: 581.5

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-3-293-303>

Поступила в редакцию 21.04.2022

Received 21.04.2022

Д. Г. Груммо, А. В. Пугачевский, С. Г. Русецкий, Н. А. Зеленкевич

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЛЕСНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА БЕЛАРУСИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Аннотация. В работе на основе интеграции спутниковых картографических продуктов, данных дистанционного зондирования проведен анализ динамики лесного растительного покрова Беларуси. Установлено, что стабильный лесной покров в настоящее время занимает 7209,0 тыс. га (75,8 %), а сформированный на ранее нелесных землях – 1459,5 тыс. га (14,7 %). За период с 1985 по 2020 г. потери лесов составили 1569,3 тыс. га. За период с 2016 по 2020 г. среднегодовая площадь обезлесения составила 83,4 тыс. га в год, что в 2,3 раза выше по отношению к средним показателям за 1985–2015 гг. Наибольшие потери лесов отмечались в 2016–2018 гг. По сравнению с данными Национального статистического комитета за 2020 г. разница с фактической площадью покрытых лесом земель составила 664,9 тыс. га (расхождение 7,4 %). По данным дистанционного зондирования, площадь лесопокрытых земель оценивается в 8999,3 тыс. га, что соответствует 43,3 % лесистости.

Предложенный подход к анализу изменений лесного растительного покрова – качественное и экономически выгодное информационное обеспечение для принятия управленческих решений по использованию лесных ресурсов на основе данных дистанционного зондирования.

Ключевые слова: спутниковые картографические продукты, геоботаническая карта, ArcGIS, леса, лесистость, потеря лесов

Для цитирования: Анализ динамики лесного растительного покрова Беларуси на основе данных дистанционного зондирования / Д. Г. Груммо [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2022. – Т. 67, № 3. – С. 293–303. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-3-293-303>

Dzmitry G. Grummo, Alexander V. Pugachevsky, Siarhei G. Rusetsky, Natallia A. Zeliankevich

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

ANALYSIS OF FOREST COVER DYNAMICS IN BELARUS BASED ON REMOTE SENSING DATA

Abstract. An analysis of the forest vegetation cover dynamics in Belarus based on the integration of satellite cartographic products and remote sensing data is presented in the article. Currently, the stable forest cover occupies 7209.0 thousand hectares (75.8 %); the forests formed on the previously non-forest lands – 1459.5 thousand hectares (14.7 %). The loss of forests amounted to 1569.3 thousand hectares for the period 1985–2020. For the period 2016–2020, the average annual deforestation area was 83.4 thousand ha/year, or 2.3 times higher than the average one for 1985–2015. The largest forest loss areas were in 2016–2018. Compared to the data of the National Statistical Committee for 2020, the difference with the actual area of the forest-covered land was 664.9 thousand hectares (7.4 % discrepancy). The area of the forested land according to the remote sensing data is 8999.3 thousand hectares, the forest cover is 43.3 %.

The proposed approach to analyzing the forest vegetation changes based on remote sensing data is a high-quality and cost-effective information support for managerial decisions on the forest use.

Keywords: satellite maps, geobotanical map, ArcGIS, forests, forest cover, deforestation

For citation: Grummo Dz. G., Pugachevsky A. V., Rusetsky S. G., Zeliankevich N. A. Analysis of forest cover dynamics in Belarus based on remote sensing data. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2022, vol. 67, no. 3, pp. 293–303 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-3-293-303>

Введение. Интенсификация аграрного производства, сопровождаемая сокращением площадей сельскохозяйственных земель, изменение подходов к организации и ведению лесного хозяйства, увеличение роли лесопромышленного комплекса в национальной экономике и другие социально-экономические причины вызвали существенные изменения лесного растительного покрова Беларуси за последние десятилетия.

Цель данных исследований – проследить за изменениями лесного растительного покрова с 1985 по 2020 г. в Республике Беларусь.

Открытые каталоги спутниковых данных, в частности собираемых с помощью программы Landsat с середины 1980-х годов по настоящее время, позволяют провести независимую оценку динамики растительного покрова, исследовать изменения категорий землепользования, а также пространственного распределения лесных ресурсов [1–3].

Методы исследований. В основу картографической оценки динамики лесного растительного покрова Беларуси легли материалы дистанционного зондирования Земли лесов Восточной Европы за 1985–2012 гг., размещенные в открытом доступе [4]. Авторами разработан оригинальный алгоритм (рис. 1) обработки снимков и создания временных серий изображений, который позволяет картографировать общую лесопокрытую площадь, ее потери и увеличение [3, 5]. Оценка точности тематического продукта (точность производителя) для выделенных авторами категорий динамики лесного растительного покрова составила (в %): сокращение лесного покрова 1985–2000 гг. – 90,0; сокращение лесного покрова 2000–2012 гг. – 88,2; восстановление лесного покрова (после сокращения 1985–2012 гг.) – 96,9; восстановление лесного покрова (внутри нелесных территорий 1985 г.) – 75,2 [3].

Результаты картографирования динамики лесного покрова дополнены нами данными за период с 2013 по 2020 г. (рис. 2). Исследования выполнены с использованием метода построения и обработки сезонных безоблачных композитных изображений [3, 6–8]. Модель была обучена

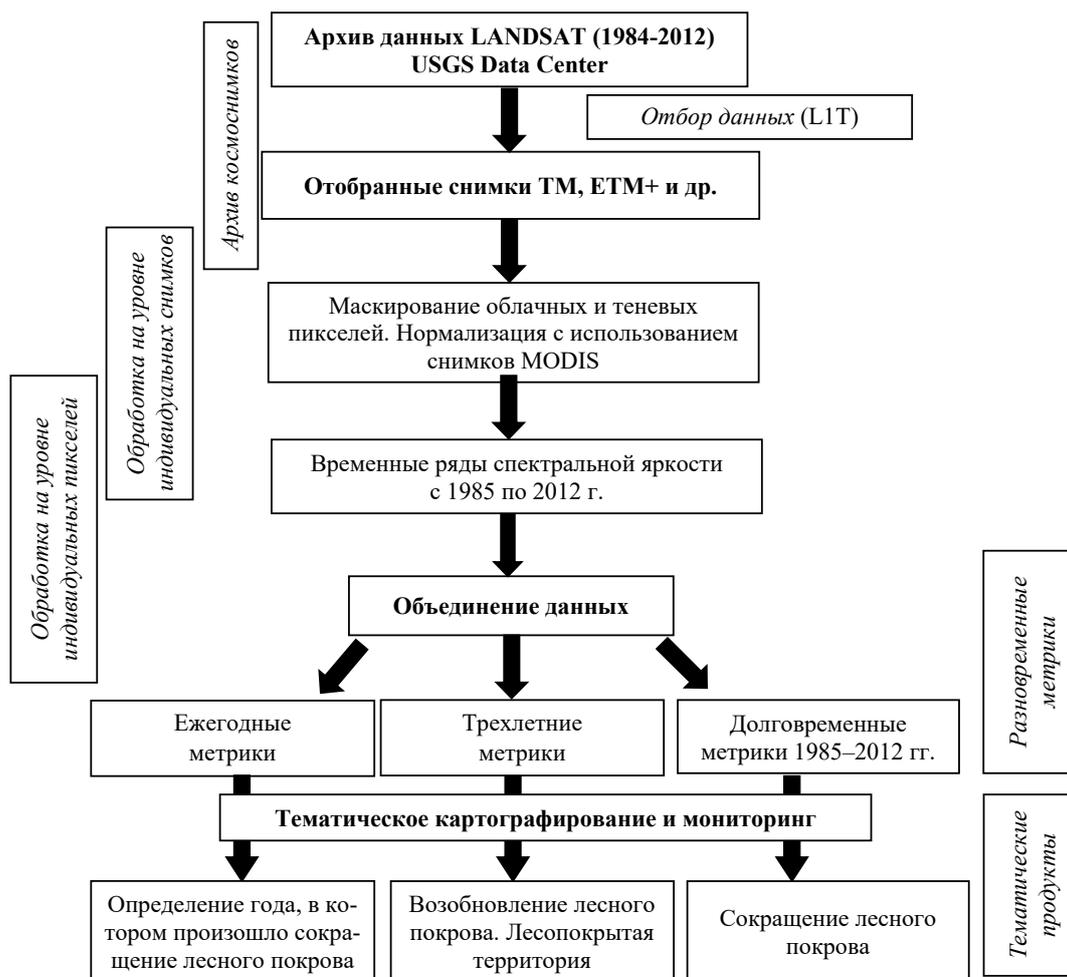


Рис. 1. Общая технологическая схема картографирования динамики лесного растительного покрова по спутниковым данным Landsat [3]

Fig. 1. General technological mapping scheme of forest vegetation dynamics using the Landsat satellite data [3]



Рис. 2. Алгоритм изучения динамики лесного растительного покрова Беларуси по данным дистанционного зондирования с 1985 по 2020 г.

Fig. 2. Study algorithm of forest vegetation cover dynamics in Belarus based on remote sensing data from 1985 to 2020

с использованием продукта оценки сомкнутости крон деревьев. Порог сомкнутости крон использовался ранее для картографирования лесопокрытой площади и был рассчитан с учетом наилучшего соответствия полученной площади результатам официального лесного учета [5, 9]. Пиксели с сомкнутостью крон $>49\%$ были отнесены к лесопокрытым, а с сомкнутостью крон $\leq 49\%$ – к не покрытым лесом площадям [3]. Метод классификации с обучением применялся для картографирования нарушений лесного покрова. Для определения года изменений использовали временные ряды изменения вегетационного индекса NDVI, построенные на основе ежегодных метрик [3]. Возобновление лесного покрова определяли по сравнению с состоянием на 2012 г. [3, 5]. В ходе проведения исследований использовали сервис платформы облачных вычислений Google Earth Engine. Анализ полученных данных осуществляли также с применением специальных тематических продуктов (Global PALSAR-2/PALSAR Forest/Non-Forest Map [10], Hansen Global Forest Change [11, 12], MCD64A1 [13]).

В результате синтеза разнообразной аналитической информации на платформе ArcGIS были составлены (рис. 2) крупномасштабные (М 1:100 000) карты динамики лесного покрова Беларуси за 1985–2020 гг. (рис. 3); потери лесов Беларуси за 1985–2020 гг.; древесно-кустарниковой растительности (ДКР), не включенной в состав Гослесфонда (рис. 4).

При оценке нарушении лесного покрова не проводилось разделение по типу (гари, ветровалы, вырубки, сплошные санитарные рубки в очагах повреждения насекомыми, вымочки, сведение лесов для нужд экономики и т. д.).

Составленные цифровые карты могут обновляться в интерактивном режиме, а алгоритм позволяет строить оперативные аналитические карты динамического состояния лесного покрова. Тематический картографический продукт легко увязывается с другими материалами (лесоустроительными данными, границами особо охраняемых природных территорий, административных районов, водоохранных зон и т. д.), что позволяет создавать разнообразные тематические карты и анализировать их в различных сочетаниях для оценки структуры, состояния и динамики лесов (рис. 5, табл. 1–4).

Результаты и их обсуждение. Анализируя материалы исследований (см. табл. 1–4, рис. 3–5), следует отметить, что стабильный лесной покров (с сохранением структуры, без признаков повреждения и деградации) в настоящее время занимает 7209,0 тыс. га (75,8 %), а сформированный на ранее (с 1985 г.) нелесных землях – 1459,5 тыс. га (14,7 %).

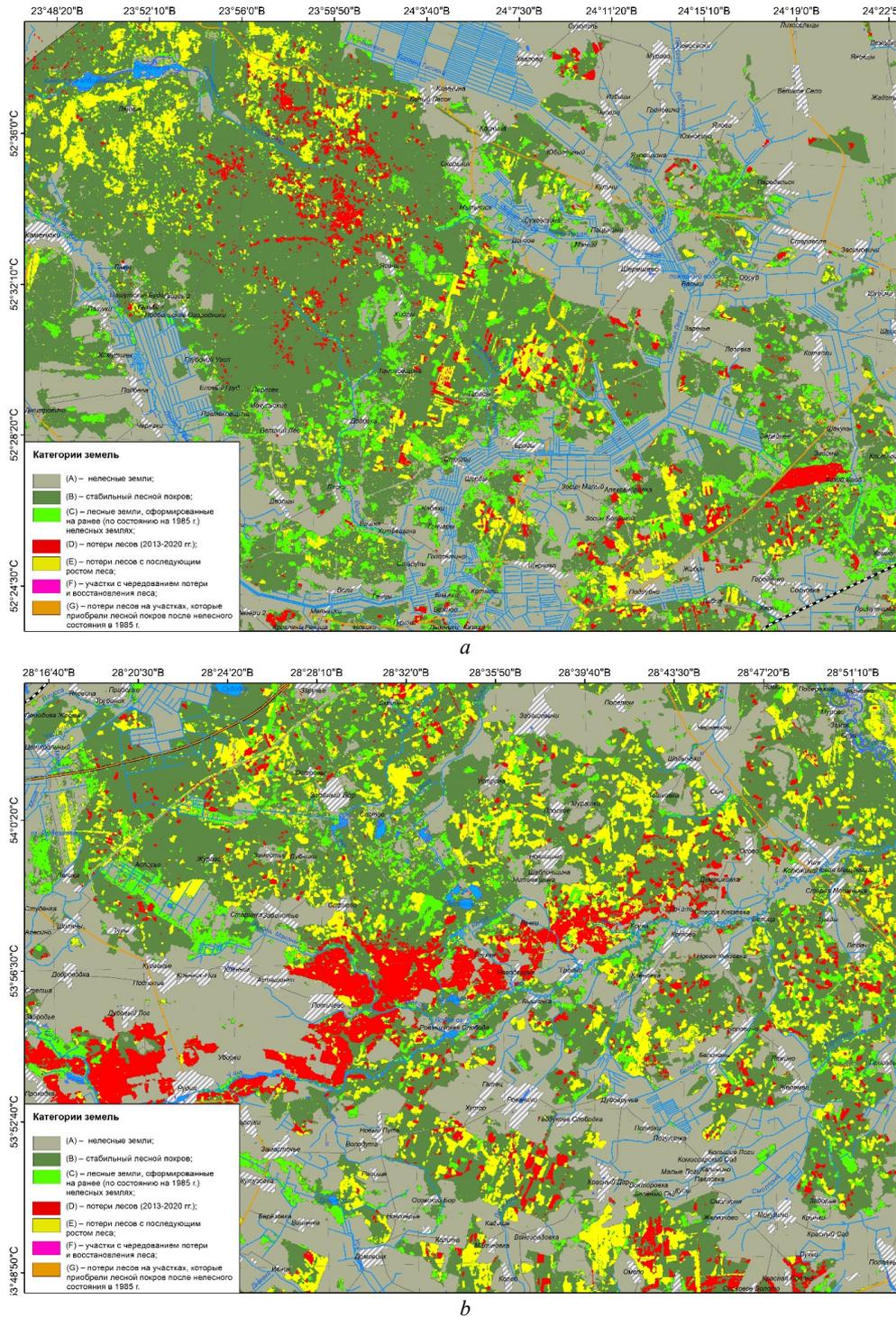


Рис. 3. Фрагменты цифровой карты изменения лесного покрова Беларуси за период с 1985 по 2020 г. (*a* – Пружанский район Брестской области (Национальный парк «Беловежская пуща»), *b* – Смолевичский район Минской области)

Fig. 3. Digital map fragments of the forest cover changes in Belarus from 1985 to 2020 (*a* – Pruzhany district of Brest region (National Park “Belovezhskaya Pushcha”), *b* – Smolevichi district of Minsk region)

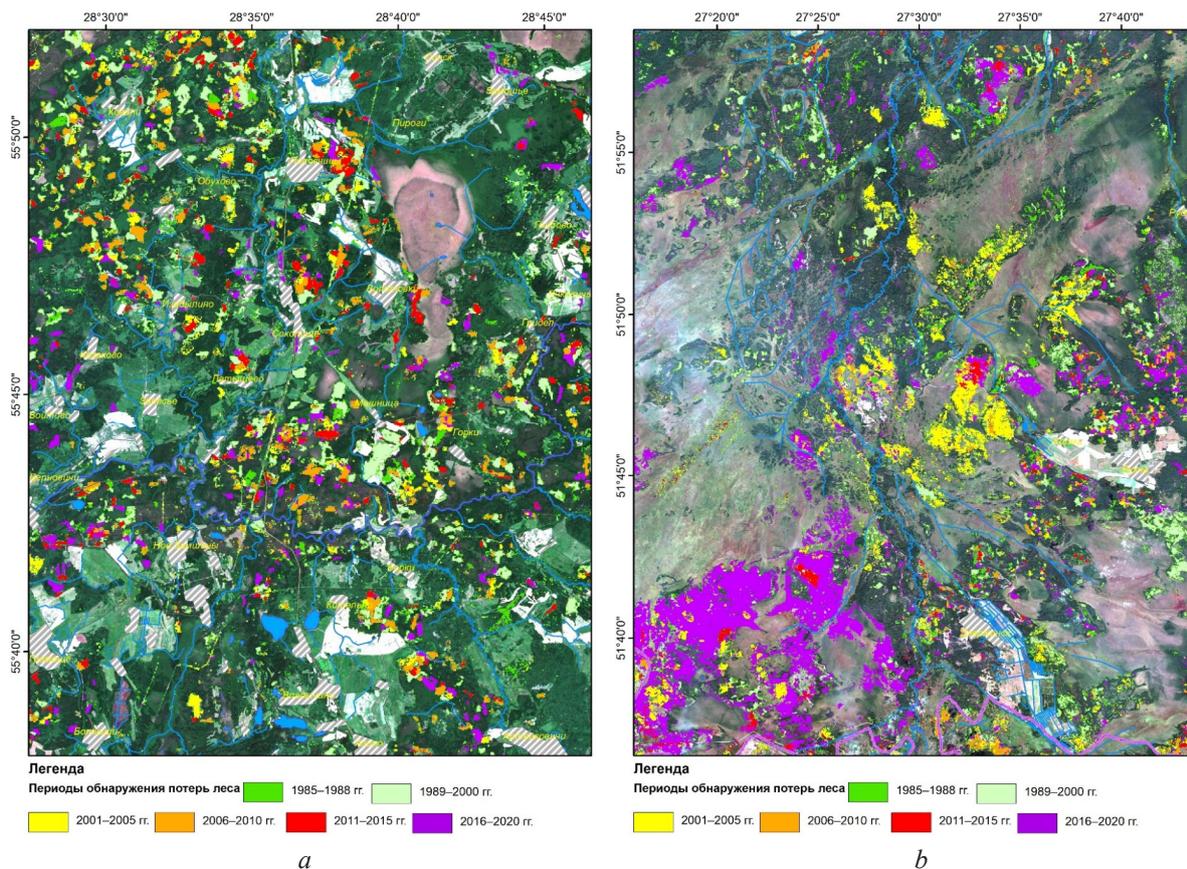


Рис. 4. Фрагменты цифровой карты потери лесов Беларуси за период с 2001 по 2020 г. (*a* – Россонский район Витебской области, *b* – Столинский район Брестской области)

Fig. 4. Digital map fragments of the forest loss in Belarus from 2001 to 2020 (*a* – Rossony district, Vitebsk region, *b* – Stolinsky district, Brest region)

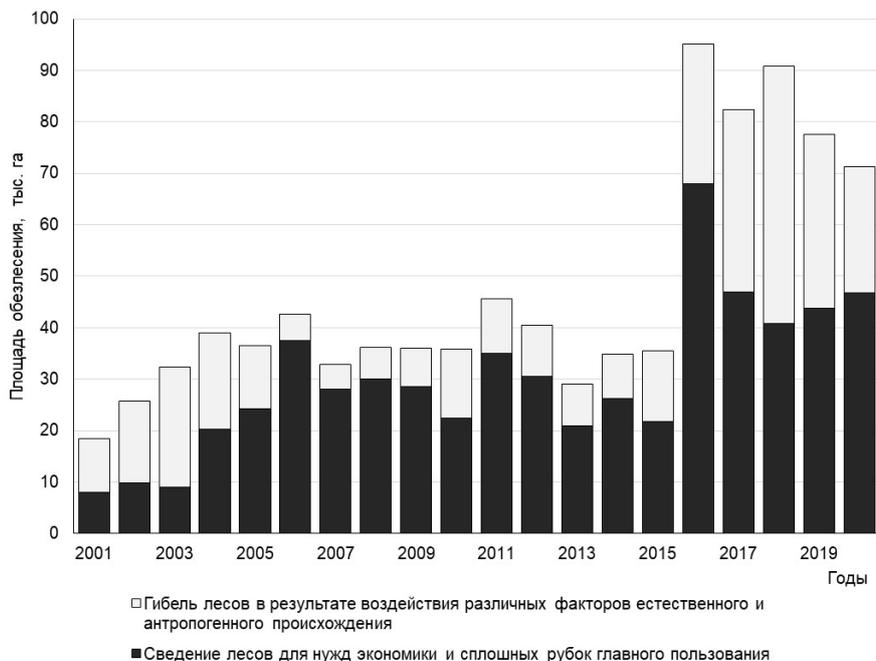


Рис. 5. Погодичная динамика потери лесов на территории Беларуси в результате воздействия всех факторов естественного и антропогенного характера

Fig. 5. Semi-annual dynamics of the forest loss in Belarus as a result of all factors of natural and anthropogenic impact

Зафиксированные с использованием спутниковой съемки потери лесов в 2013–2020 гг. (в результате ветровалов, сплошных рубок, пожаров и других неблагоприятных воздействий естественного и антропогенного происхождения) составили 516,5 тыс. га (5,2 %); потери лесов с последующим восстановлением лесного покрова (посадки лесных культур, естественное лесозаращивание) – 421,63 тыс. га (4,5 %). На незначительной (<0,1 %) площади лесного фонда выявлены участки, на которых за рассматриваемый период наблюдалось чередование гибели и прироста леса, а также отмечались потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после «безлесного состояния» в 1985 г. (см. табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Динамика лесного покрова Беларуси за период с 1985 по 2020 г. (составлено с использованием данных [4] с дополнениями и уточнениями)

Table 1. Forest cover dynamics in Belarus from 1985 to 2020 (compiled by [4] supplemented and specified)

Категория участка	Площадь	
	тыс. га	%
Стабильный лесной покров	7535,8	75,8
Леса, сформированные на ранее не покрытых лесом землях (по состоянию на 1985 г.)	1459,5	14,7
Потери лесов последних лет (2013–2020 гг.)	516,5	5,2
Потери лесов с последующим восстановлением леса	421,6	4,2
Участки лесного фонда с чередованием потери и восстановления леса	4,0	0,1
Потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после нелесного состояния в 1985 г.	2,0	<0,1
Всего	9939,4	100

По административным областям Беларуси распределение лесных земель по категориям динамики находится в близком диапазоне (табл. 2): стабильный лесной покров занимает от 72,8 % (Минская область) до 78,1 % (Могилевская и Витебская области); леса, сформированные на ранее нелесных землях (по состоянию на 1985 г.) – от 12,2 % (Витебская область) до 16,5 % (Гомельская область); потери лесов последних лет (2013–2020 гг.) – от 3,1 % (Могилевская область) до 8,2 % (Минская область); потери лесов с последующим его восстановлением – от 2,7 % (Гомельская область) до 5,7 % (Гродненская область).

Т а б л и ц а 2. Динамика лесного покрова за период с 1985 по 2020 г. в разрезе административных областей Беларуси (составлено с использованием данных [4] с дополнениями и уточнениями)

Table 2. Forest cover dynamics in Belarus from 1985 to 2020 by the administrative regions of Belarus (compiled by [4] supplemented and specified)

Категория земель	Административная область					
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Стабильный лесной покров, тыс. га (%)	1092,6 (74,4)	1608,8 (78,1)	1632,5 (77,3)	807,6 (73,5)	1391,6 (72,8)	1002,7 (78,1)
Леса, сформированные на ранее не покрытых лесом землях (по состоянию на 1985 г.), тыс. га (%)	233,8 (15,9)	251,9 (12,2)	349,6 (16,5)	156,8 (14,3)	270,5 (14,1)	196,9 (15,3)
Потери лесов последних лет (2013–2020 гг.), тыс. га (%)	65,3 (4,4)	105,1 (5,1)	75,4 (3,6)	75,1 (6,8)	156,2 (8,2)	39,3 (3,1)
Потери лесов с последующим восстановлением леса, тыс. га (%)	76,7 (5,2)	95,5 (4,6)	53,8 (2,6)	59,3 (5,4)	91,7 (4,8)	44,6 (3,5)
Участки лесного фонда с чередованием потери и восстановления леса, тыс. га (%)	0,8 (0,1)	0,5 (<0,1)	0,9 (<0,1)	0,4 (<0,1)	0,9 (0,1)	0,5 (<0,1)
Потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров на ранее не покрытых лесом землях (1985 г.), тыс. га (%)	0,5 (<0,1)	0,2 (<0,1)	0,4 (<0,1)	0,3 (<0,1)	0,5 (<0,1)	0,2 (<0,1)

При анализе картографических данных (табл. 3, рис. 4) установлено, что за период с 1985 по 2020 г. в результате различных факторов воздействия естественного и антропогенного происхождения (рубки леса, пожары, повреждение вредителями и т. д.) потери лесов составили 1569,3 тыс. га. До 2016 г. площадь обезлесения составляла в среднем 36,2 тыс. га в год. В последние годы (2016–2020) отмечается существенный рост этого показателя. В этот период среднегодовая площадь обезлесения составила 83,4 тыс. га в год, что в 2,3 раза выше по сравнению со средними показателями за период с 1985 по 2015 г. Наибольшие площади потери лесов в Беларуси отмечались в 2016–2018 гг. (см. табл. 3).

Таблица 3. Потери лесов на территории Беларуси по различным периодам (составлено по данным [4] и собственных исследований)

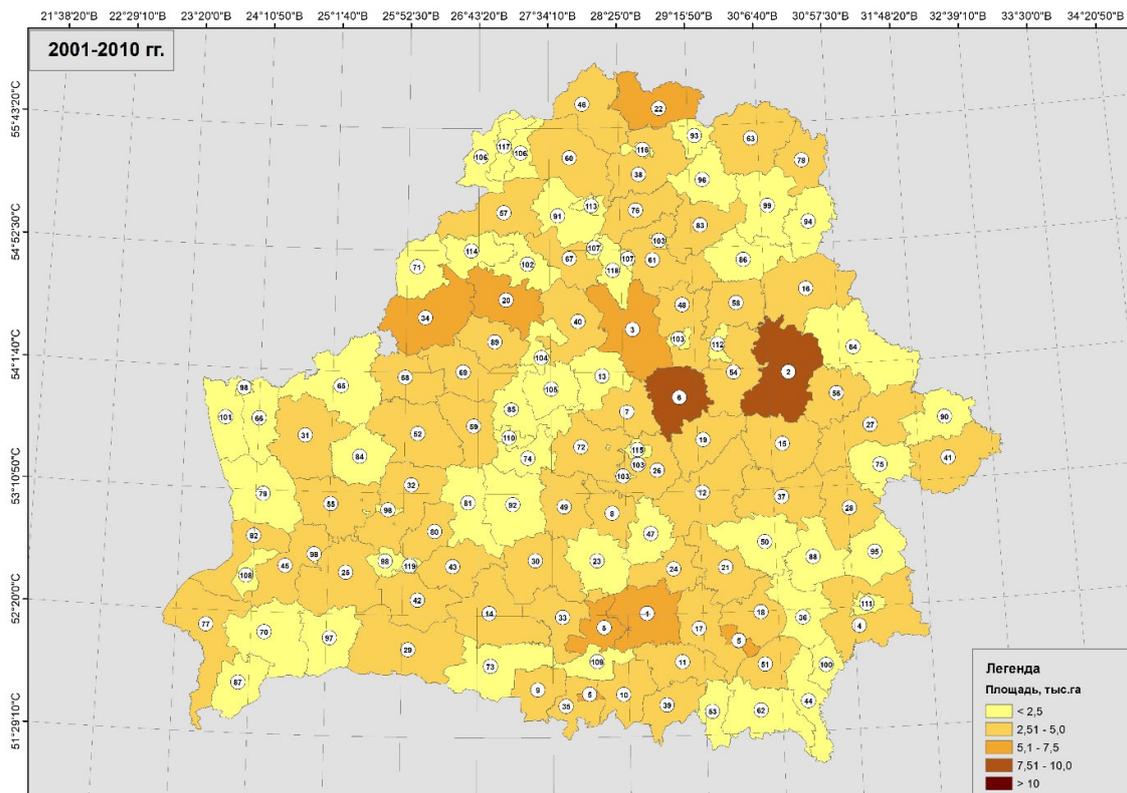
Table 3. Forests loss in Belarus in different periods (compiled by [4] and own research)

Период	Общая площадь потери лесов за указанный период, тыс. га	Среднегодовые площади потери лесов за указанный период, тыс. га в год
1986–1988	145,2	36,3
1989–2000	486,1	40,5
2001–2005	152,0	30,4
2006–2010	183,5	36,7
2011–2015	185,5	37,1
2016–2020	417,0	83,4

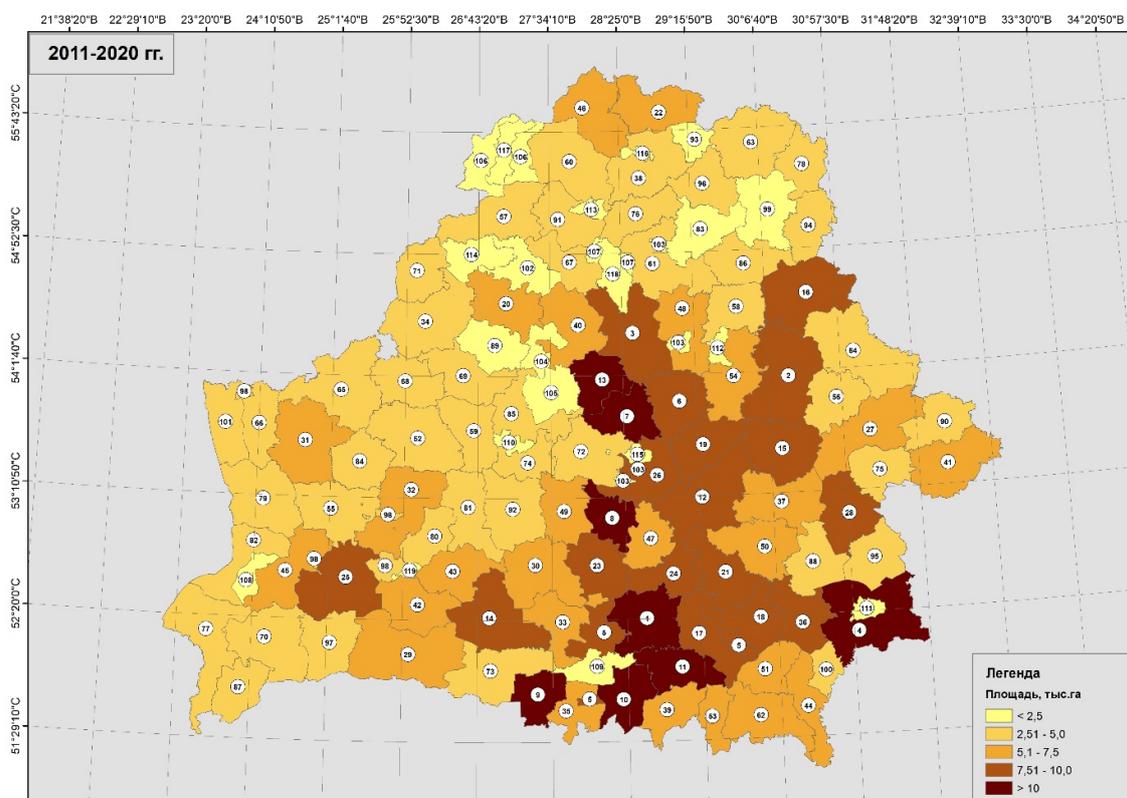
Таблица 4. Динамика потери лесов по административным областям Беларуси в 2001–2020 гг., тыс. га

Table 4. Forest loss dynamics in Belarus by the administrative regions from 2001 to 2020, thousand ha

Годы	Площади потери лесов, тыс. га						
	Витебская обл.	Минская обл.	Брестская обл.	Могилевская обл.	Гомельская обл.	Гродненская обл.	Беларусь
2001	3,61	3,90	2,88	2,15	4,01	1,99	18,54
2002	5,70	6,29	2,98	3,25	5,07	2,36	25,65
2003	6,28	6,57	4,22	4,02	8,66	2,62	32,37
2004	6,65	7,86	5,28	6,35	9,46	3,29	38,89
2005	8,47	6,99	4,80	5,56	5,53	5,16	36,51
2006	8,30	11,12	5,65	5,42	8,27	3,86	42,62
2007	5,60	6,76	5,87	3,40	7,14	4,14	32,91
2008	7,38	8,16	3,98	5,88	8,33	2,41	36,14
2009	6,47	8,57	3,83	6,47	7,53	3,14	36,01
2010	5,70	8,72	4,97	3,86	7,97	4,71	35,93
2011	6,32	11,42	4,05	7,21	11,61	5,01	45,62
2012	6,22	9,12	5,31	5,71	8,16	5,92	40,44
2013	5,82	5,97	2,93	5,28	6,19	2,90	29,09
2014	6,48	6,65	3,93	6,11	8,41	3,28	34,86
2015	6,14	6,05	3,63	6,26	10,41	3,01	35,50
2016	11,12	23,93	16,31	16,31	20,33	7,13	95,13
2017	8,32	19,20	12,52	9,21	27,62	5,41	82,28
2018	8,33	15,28	11,99	11,32	39,31	4,56	90,79
2019	9,86	14,36	13,20	10,92	23,02	6,28	77,64
2020	9,23	13,63	10,86	9,73	20,95	6,76	71,16
2001–2020	142,0 (15,1 %)	200,55 (21,4 %)	129,19 (13,8 %)	134,42 (14,3 %)	247,98 (26,4 %)	83,94 (9,0 %)	938,08 (100,0 %)



a



b

Рис. 6. Потери лесов за 2001–2010 гг. (а) и 2011–2020 гг. (б) по лесопользователям
Fig. 6. Forest loss for 2001–2010 (a) and 2011–2020 (b) (distribution by forestry enterprises)

Гибель насаждений (от повреждения дикими животными, болезни лесов, воздействия неблагоприятных погодных условий, излишней влажности, лесных пожаров и т. д.) за период с 2001 по 2020 г. составляет в среднем 35,8 % от общей площади обезлесения (пределы – от 12 до 72 %) (рис. 5).

Обезлесение в 2001–2020 гг. в разрезе административных областей составили: для Гомельской области – 247,98 тыс. га (26,4 % от общей площади за указанный период в Беларуси), для Минской – 200,55 тыс. га (21,4 %), для Витебской – 142 тыс. га (15,1 %), для Могилевской – 134,42 тыс. га (14,3 %), для Брестской – 129,19 тыс. га (13,8 %), для Гродненской – 89,94 тыс. га (9,0 %) (см. табл. 2). Оценка потери лесов в 2001–2020 гг., по лесопользователям исходя из данных дистанционного зондирования представлена на рис. 6. Наибольшие значения за анализируемый период отмечены для ГЛХУ «Петриковский лесхоз» (17,91 тыс. га), ГЛХУ «Могилевский лесхоз» (17,56 тыс. га), ГОЛХУ «Борисовский опытный лесхоз» (17,01 тыс. га), ГОЛХУ «Гомельский опытный лесхоз» (16,37 тыс. га), ЭЛОХ «Лясковичи» (15,63 тыс. га).

Следует отметить, что материалы оценки дистанционного зондирования расходятся с официальными данными о площади лесов в Республике Беларусь. По сравнению с данными Национального статистического комитета за 2020 г. разница с фактической площадью покрытых лесом земель (сомкнутость крон >49 %) составила 664,9 тыс. га (расхождение 7,4 %) [14]. По-видимому, это связано с зарастанием ранее нелесных земель (прежде всего сельскохозяйственного назначения) и отставанием процесса передачи ДКР вне его пределов в состав Гослесфонда. В целом, по данным дистанционного зондирования Земли, на момент исследований (2020 г.) площадь лесопокрытых земель оценивается нами в 8999,3 тыс. га, что соответствует 43,3 % лесистости. Эти оценки совпадают с аналогичными данными различных интернет-платформ, специализирующихся на учете типов земель и мониторинге биоразнообразия [15, 16]. Так, по данным проекта OneSoil, лесистость Беларуси уже составляет 42,3 %, а с учетом ДКР – 46,3 % [15].

Заключение. В настоящей работе на основе интеграции спутниковых картографических продуктов, данных дистанционного зондирования проведен анализ динамики лесного растительного покрова Беларуси. Установлено, что стабильный лесной покров (без изменений и признаков деградации за анализируемый 35-летний период) в настоящее время занимает 7209,0 тыс. га (75,8 %), а сформированный на ранее нелесных землях – 1459,5 тыс. га (14,7 %).

Потери лесов последних лет (2013–2020 гг.) выявлены на площади 516,5 тыс. га (5,2 %); потери лесов с последующим восстановлением лесного покрова (посадки лесных культур, естественное лесозаращивание) – на площади 421,6 тыс. га (4,5 %). На незначительной (<0,1 %) площади лесного фонда выявлены участки, на которых за рассматриваемый период наблюдалось чередование гибели и восстановления леса, а также отмечались потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после «нелесного состояния» в 1985 г.

В целом за период с 1985 по 2020 г. в результате различных факторов воздействия естественного и антропогенного происхождения (рубки леса, пожары, повреждение вредителями и т. д.) потери лесов составили 1569,3 тыс. га. За последний пятилетний период (2016–2020 гг.) среднегодовая площадь обезлесения составила 83,4 тыс. га в год, что в 2,3 раза выше по сравнению со средними показателями за 1985–2015 гг. Наибольшие площади потери лесов отмечались в 2016–2018 гг.

По сравнению с данными Национального статистического комитета на 2020 г. разница с фактической площадью покрытых лесом земель (в наших исследованиях с сомкнутостью крон >49 %) составила 664,9 тыс. га (расхождение 7,4 %). Площадь лесопокрытых земель по данным дистанционного зондирования оценивается нами в 8999,3 тыс. га, что соответствует 43,3 % лесистости.

Предложенный подход позволяет получать качественное и экономически выгодное информационное обеспечение для систем принятия управленческих решений по использованию лесных ресурсов на основе данных дистанционного зондирования.

Список использованных источников

1. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring / M. A. Wulder [et al.] // Remote Sens. Environ. – 2008. – Vol. 112, N 3. – P. 955–969. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.07.004>
2. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS / С. А. Барталев [и др.] // Совр. проблемы дистанц. зондиров. Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 4. – С. 285–302.

3. Анализ динамики лесного покрова Восточной Европы на основе спутниковых данных с 1985 по 2012 / С. А. Турубанова [и др.] // *Rus. J. Ecosystem Ecol.* – 2017. – Т. 2, № 1. – Р. 1–11.
4. Global Land Analysis & Discovery [Electronic resource]. – Mode of access: <http://glad.geog.umd.edu/>. – Date of access: 24.01.2022.
5. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive / P. V. Potapov [et al.] // *Remote Sens. Environ.* – 2014. – Vol. 159. – P. 28–43. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.027>
6. Белова, Е. С. Методика создания безоблачных композитных изображений по спутниковым данным Landsat / Е. С. Белова, Д. В. Ершов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : сб. тез. 8-й Всерос. отк. конф., Москва, ИКИ РАН, 15–19 нояб. 2010 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=31&thesis=2439>. – Дата доступа: 06.04.2022.
7. Белова, Е. С. Предварительная обработка временных серий изображений Landsat- TM/ETM+ при создании безоблачных изображений местности / Е. С. Белова, Д. В. Ершов // *Совр. проблемы дистанц. зондиров. Земли из космоса.* – 2011. – Т. 8, № 1. – С. 73–82.
8. Гаврилюк, Е. А. Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat-TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской области / Е. А. Гаврилюк, Д. В. Ершов // *Совр. проблемы дистанц. зондиров. Земли из космоса.* – 2012. – Т. 9, № 4. – С. 15–23.
9. Potapov, P. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia / P. Potapov, S. Turubanova, M. C. Hansen // *Remote Sens. Environ.* – 2011. – Vol. 115, N 2. – P. 548–561. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.10.001>
10. New global forest/non-forest maps from ALOS PALSAR data (2007–2010) / M. Shimada [et al.] // *Remote Sens. Environ.* – 2014. – Vol. 155. – P. 13–31. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.014>
11. Hansen, M. C. A review of large area monitoring of land cover change using landsat data / M. C. Hansen, T. R. Loveland // *Remote Sens. Environ.* – 2012. – Vol. 122. – P. 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.024>
12. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change / M. C. Hansen [et al.] // *Science.* – 2013. – Vol. 342, N 6160. – P. 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
13. The collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product / L. Giglio [et al.] // *Remote Sens. Environ.* – 2018. – Vol. 217. – P. 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
14. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь [2014—2020] : стат. сб. / И. В. Медведева [и др.]. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2021. – 203 с.
15. OneSoil [Электронный ресурс]. – Mode of access: <https://onesoil.ai>. – Date of access: 06.04.2022.
16. Global Forest Watch [Электронный ресурс]. – Mode of access: <https://www.globalforestwatch.org>. – Date of access: 06.04.2022.

References

1. Wulder M. A., White J. C., Goward S. N., Masek J. G., Irons J. R., Herold M., Woodcock C. E. Landsat continuity: issues and opportunities for land cover monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 2008, vol. 112, no. 3, pp. 955–969. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.07.004>
2. Bartalev S. A., Egorov V. A., Ershov D. V., Isaev A. S., Lupyan E. A., Plotnikov D. E., Uvarov I. A. Satellite mapping of the vegetation cover of Russia according to the data of the MODIS spectroradiometer. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2011, vol. 8, no. 4, pp. 285–302 (in Russian).
3. Turubanova S. A., Krylov A. M., Potapov P. V., Tyukavina A. Yu. Analysis of forest cover dynamics in Eastern Europe based on satellite data from 1985 to 2012. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2017, vol. 2, no. 1, pp. 1–11 (in Russian).
4. *Global Land Analysis & Discovery*. Available at: <http://glad.geog.umd.edu/> (accessed 24.01.2022).
5. Potapov P. V., Turubanova S. A., Tyukavina A., Krylov A. M., McCarty J. L., Radeloff V. C., Hansen M. C. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive. *Remote Sensing of Environment*, 2014, vol. 159, pp. 28–43. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.027>
6. Belova E. S., Ershov D. V. Technique for creating cloud-free composite images from satellite data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa: sbornik tezisov Vos'moi Vserossiiskoi otkrytoi konferentsii, Moskva, IKI RAN, 15–19 noyabrya 2010 g.* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space : proceedings of the Eighth All-Russian open conference, Moscow, IKI RAS, November 15–19, 2010]. Available at: <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=31&thesis=2439> (accessed 06.04.2022) (in Russian).
7. Belova E. S., Ershov D. V. Pre-processing of time series of Landsat-TM/ETM+ images when creating cloud-free terrain images]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2011, vol. 8, no. 1, pp. 73–82 (in Russian).
8. Gavriluk E. A., Ershov D. V. Method of joint processing of multi-seasonal Landsat-TM images and creation of a map of terrestrial ecosystems of the Moscow region on their basis. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2012, vol. 9, no. 4, pp. 15–23 (in Russian).
9. Potapov P., Hansen M. C. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European. *Remote Sensing of Environment*, 2011, vol. 115, no. 2, pp. 548–561. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.10.001>
10. Shimada M., Itoh T., Motooka T., Watanabe M., Tomohiro Sh., Thapa R., Lucas R. New global forest/non-forest maps from ALOS PALSAR data (2007–2010). *Remote Sensing of Environment*, 2014, vol. 155, pp. 13–31. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.014>

11. Hansen M. C., Loveland T. R. A review of large area monitoring of land cover change using landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 2012, vol. 122, pp. 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.024>
12. Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 2013, vol. 342, no. 6160, pp. 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
13. Giglio L., Boschetti L., Roy D. P., Roy D. P., Humber M. L., Justice C. O. The collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment*, 2018, vol. 217, pp. 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
14. Medvedeva I. V., Kukharevich E. I., Vasilevskaya Zh. N., Dovnar O. A., Tarasyuk N. V., Lapkovskaya T. V., Mazaiskaya I. A., Palkovskaya E. M., Zdrok E. A. *Environmental Protection in the Republic of Belarus [2014–2020]. Statistical compendium*. Minsk, National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2021. 203 p. (in Russian).
15. *OneSoil*. Available at: <https://onesoil.ai> (accessed 06.04.2022).
16. *Global Forest Watch*. Available at: <https://www.globalforestwatch.org> (accessed 06.04.2022).

Информация об авторах

Груммо Дмитрий Геннадьевич – канд. биол. наук, директор. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: zm.hrumo@gmail.com

Пугачевский Александр Викторович – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ieb_dir@biobel.by

Русецкий Сергей Геннадьевич – науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: geobotany304@tut.by

Зеленкевич Наталья Алексеевна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: zeliankevich_nat@mail.ru

Information about the authors

Dzmitry G. Grummo – Ph. D. (Biol.), Director. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zm.hrumo@gmail.com

Alexander V. Pugachevsky – Ph. D. (Biol.), Leading Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ieb_dir@biobel.by

Siarhei G. Rusetski – Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: geobotany304@tut.by

Natallia A. Zeliankevich – Ph. D. (Biol.), Leading Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zeliankevich_nat@mail.ru