

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 3 (94). С. 79–86.

Forest of Russia and economy in them. 2025. № 3 (94). P. 79–86.

Научная статья

УДК 630.8

DOI: 10.51318/FRET.2025.94.3.009

ОБЪЕМЫ УГЛЕРОДА В ЖИВОМ НАПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ПОД ПОЛОГОМ ЕЛЬНИКОВ КИСЛИЧНОГО ТИПА ЛЕСА

М. И. Мунтяну¹, А. В. Грязькин², Н. В. Беляева³, М. А. Хоанг⁴,
Л. К. Волдаев⁵, Д. Комауэ⁶

^{1–6} Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова,
Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Васильевич Грязькин,
galbel06@mail.ru

Аннотация. Представлены материалы по запасам углерода, накопленного в травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах под пологом ельников. Объект исследования – ельники кисличного типа леса, средний возраст древостоев 85–130 лет. Сомкнутость крон верхнего яруса древостоя составляет 68–86 %. Густота древостоя – 570–788 экз./га. Цель исследования – оценка запасов фитомассы и накопленного углерода живым напочвенным покровом под пологом ельников кисличного типа леса. Видовой состав, встречаемость и проективное покрытие растений в составе живого напочвенного покрова определяли на круговых учетных площадках по 10 м² в количестве не менее 30 на каждом участке. Запасы фитомассы травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов получены методом укосов на учетных площадках 1 × 1 м. Количество площадок для определения фитомассы – 5 или 6 на каждом опытном участке, т. е. образцы для определения фитомассы отбирали на каждой шестой круговой учетной площадке. При этом надземную часть всех растений в составе срезали и после маркировки укладывали в отдельные пакетики по видам. Разделение зеленых мхов и сфагнумов по видам не осуществлялось. В составе живого напочвенного покрова выделено от 22 до 25 видов сосудистых растений и более 8 видов мхов и лишайников. Установлено, что суммарная фитомасса травостоя под пологом ельников кисличного типа леса в зависимости от таксационных характеристик древостоев составляет от 1,2 до 2,3 т/га, что в пересчете на углерод – 0,6–1,1 т/га. Коэффициент пересчета фитомассы в углерод принят равным 0,46. Полученные результаты можно сравнивать с данными по другим типам леса и лесообразующим породам.

Ключевые слова: Ленинградская область, ельник кисличный, живой напочвенный покров, запасы фитомассы, углерод

Для цитирования: Объемы углерода в живом напочвенном покрове под пологом ельников кисличного типа леса / М. И. Мунтяну, А. В. Грязькин, Н. В. Беляева [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 3 (94). С. 79–86.

Original article

CARBON VOLUMES IN LIVING GROUND COVER UNDER THE CANOPY OF OXALIS SPRUCE FOREST TYPE

Marianna I. Munteanu¹, Anatoly V. Gryazkin², Natalia V. Belyaeva³, Minh A. Hoang⁴, Leonid C. Voldaev⁵, Jonas Komaue⁶

¹⁻⁶ St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirov, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Anatoly V. Gryazkin, galbel06@mail.ru

Abstract. Materials on carbon stocks accumulated in herbaceous-shrub and moss-lichen layers under the canopy of spruce forests are presented. The object of research is spruce forests of oxalis forest type, the average age of stands is 85–130 years. The crown density of the upper layer of the stand is 68–86 %. The density of the tree stand is 570–788 specimens/ha. The purpose of the research was to assess the reserves of phytomass and accumulated carbon by living ground cover under the canopy of spruce forests of oxalis forest type. Species composition, occurrence and projective cover of plants in the living ground cover were determined on circular survey plots of 10 m² with at least 30 plants on each plot. The reserves of phytomass of herbaceous-shrub and moss-lichen layers were obtained by the method of mowing on 1 × 1 m survey plots. The number of plots for phytomass determination was 5 or 6 on each experimental plot, that is samples for phytomass determination were taken at each circular survey plot. At the same time, the above-ground part of all plants in the composition was cut off and after marking were placed in separate bags by species. Green mosses and sphagnum were not separated by species. From 22 to 25 species of vascular plants and more than 8 species of mosses and lichens were identified as part of the living ground cover. It has been established that the total phytomass of the grass stand under the canopy of spruce stands of acidic forest type, depending on the taxation characteristics of the stands, ranges from 1,2 to 2,3 t/ha, which in terms of carbon is 0,6–1,1 t/ha. The phytomass-to-carbon conversion coefficient is assumed to be 0,46. The results obtained can be compared with data on other forest types and forest forming species.

Keywords: Leningrad region, oxalis spruce forest type, living ground cover, phytomass reserves, carbon

For citation: Carbon volumes in living ground cover under the canopy of oxalis spruce forest type / M. I. Munteanu, A. V. Gryazkin, N. V. Belyaeva [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 3 (94). С. 79–86.

Введение

Лесные экосистемы – важнейшее звено в глобальной цепи трансформаций в материальном мире. Именно в лесу происходит непрерывная ассимиляция больших объемов диоксида углерода в процессе фотосинтеза и его высвобождение при разложении органического вещества, дыхании растений и почвы. Из многочисленных публикаций известно, что в лесных экосистемах накапливается значительное количество углерода

(Смирнов, Грязькин, 2000; Грязькин, 2003; Кобак и др., 2003; Запасы углерода..., 2021; Navas, Kubin, 1983; Cerny, 1990; Palumets, 1991; Carbon..., 2002).

Больше всего работ посвящено оценкам запасов фитомассы и углерода в главном компоненте лесных экосистем – в древостое (Смирнов, Грязькин, 2000; Кобак и др., 2003; Депонирование углерода..., 2024; Navas, Kubin, 1983; Cerny, 1990; Palumets, 1991). Углерод в подросте, подлеске, в живом напочвенном покрове представлен

в небольших объемах, однако в указанных компонентах леса интенсивность круговорота веществ выше по сравнению с древостоем (Грязькин, 2003; Роль подлеска..., 2024). В этой связи полученные данные являются важным компонентом общего баланса углерода лесных экосистем, что имеет не только теоретическое, но и практическое значение.

Известно, что в надземной части ельника кисличного может накапливаться до 170 т сухой фитомассы. Общая доля растительности нижних ярусов в этой фитомассе составляет не более 4 % (Смирнов, Грязькин, 2000; Кобак и др., 2003; Запасы углерода..., 2021). Несмотря на незначительную фитомассу, подрост, подлесок и живой напочвенный покров в лесном фитоценозе играют важнейшую ценотическую роль – обеспечивают непрерывный и динамичный биологический круговорот веществ.

О.Н. Кранкиной с соавторами оценивались запасы углерода, содержащегося в детрите (Krankina et al., 1999). Анализ запасов углерода в лесных почвах на примере Республики Башкортостан оценивались Р. Р. Байтуриной и Р. Р. Султановой (2024). И. Н. Кургановой и др. (Углеродный бюджет..., 2019) определен углеродный бюджет степных экосистем России. А. А. Титляновой оценена биологическая продуктивность травяных экосистем (Титлянова, 1988).

Цель работы – оценить запасы фитомассы и углерода в живом напочвенном покрове под пологом ельников кисличного типа леса.

Объект и методы исследования

Полевые работы по определению фитомассы живого напочвенного покрова проведены в июне после полного формирования вегетативной части растений в составе травостоя. Для этой цели использовали метод учетных площадок, которые закладывали по свободному учетному ходу (Пат. 2084129, 1997). Величина учетной площадки – 10 м², общее количество таких площадок на каждом объекте исследования – не менее 30. На каждой учетной площадке фиксировали все виды в составе живого напочвенного покрова. При этом определяли встречаемость и проективное покрытие для каждого вида в соответствии с установленными нормативами.

Фитомассу травянистых растений находили весовым методом. С этой целью на каждой пятой учетной площадке (10 м²) закладывали площадку 1 × 1 м. На данной площадке срезали надземную часть всех растений и после маркировки укладывали в отдельные пакетики по видам. Все растения каждого вида с каждой учетной площадки взвешивали сначала в свежем виде, а после высушивания – в сухом состоянии. Для перевода абсолютно сухой фитомассы в углерод использовали коэффициент, равный 0,46, используемый в прежних публикациях по данной теме (Смирнов, Грязькин, 2000; Грязькин, 2003; Кобак и др., 2003).

Результаты и их обсуждение

Ельники на объектах исследования представлены древостоями разного состава и разного возраста (табл. 1).

В составе древостоя на всех объектах исследования преобладает ель численностью от 422 до 690 экз./га. Деревья ели имеют разный возраст, высоту и диаметр ствола. Доли сосны, березы и ольхи серой в составе древостоя незначительны.

Под пологом ельников состав травяно-кустарничковой растительности не отличается большим разнообразием. Живой напочвенный покров на объектах исследования включает от 23 до 26 видов сосудистых растений и более 8 видов мхов и лишайников (табл. 2).

По величине встречаемости и проективному покрытию доминируют зеленые мхи (*Bryidae* Engl.), золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea* L.), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), ожика волосистая (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), щитовник иглистый (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs).

Суммарные запасы углерода, накопленные в травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах, составляют от 0,6 до 1,1 т/га (табл. 3).

Для сравнения запасов фитомассы живого напочвенного покрова использованы опубликованные данные других исследователей (Титлянова, 1988; Алексеев, Бердси, 1994; Cerny, 1990; Palumets, 1991; Carbon..., 2002).

Таблица 1
Table 1

Таксационная характеристика ельников на объектах исследования
Taxation characteristics of spruce forests at the research sites

Таксационные характеристики древостоя Taxation characteristics of the stand	Объект 1 Subject 1	Объект 2 Subject 2	Объект 3 Subject 3
Состав, % Tree stand composition, %	86Е 86Рa 8С 8Рs 3Б 3Вр 2Рб 2Sa 1Ивк 1Sc	78Е 78Рa 11С 11Рs 10Б 10Вр 1Ос 1Pt	51Е 51Рa 27Б 27Вр 17С 17Рs 5Ос 5Pt
Сомкнутость крон, % Closure of tree crowns, %	86	77	68
Густота древостоя, экз./га Stand density, eq./ha	655	788	570
Численность деревьев ели, экз./га Number of spruce trees, eq./ha	604	690	422
Средний диаметр стволов, см Average diameter of tree trunks, cm	26,8	23,7	24,0
Средняя высота, м Average height of trees, m	24,9	21,9	22,1
Средний возраст, лет Average age of trees, years	95	85	130
Класс бонитета Class productivity	I	I	II
Запас древесины, м³/га Wood stock (volume), m³/ha	344	297	272

Таблица 2
Table 2

Фитомасса ресурсных видов растений под пологом ельников
на объектах исследования, кг/га
Phytomass of resource plant species under the canopy of spruce forests
in the study sites, kg/ha

Название вида Plant species	Объект 1 Subject 1	Объект 2 Subject 2	Объект 3 Subject 3
Брусника <i>Vaccinium vitis idea</i> L.	57,1	77,4	79,0
Вейник лесной <i>Calamagrostis epigejos</i> L.	29,7	48,3	80,8
Вербейник обыкновенный <i>Lysimachia vulgaris</i> L.	—	—	7,0
Вереск обык. <i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull.	6,8	2,1	—
Вероника дубравная <i>Veronica officinalis</i> L.	13,4	27,0	35,9
Ветреница дубравная <i>Anemone nemorosa</i> L.	57,4	17,1	23,8
Голокучник обыкновенный <i>Gymnocarpium dryopteris</i> L.	81,9	69,7	92,4

Окончание табл. 2
The end of the table 2

Название вида Plant species	Объект 1 Subject 1	Объект 2 Subject 2	Объект 3 Subject 3
Дудник лесной <i>Angelica sylvestris</i> L.	–	12,2	20,2
Звездчатка ланцетная <i>Stellaria holostea</i> L.	34,3	41,0	69,5
Зеленые мхи <i>Bryidae</i> Engl.	941,0	1448,2	289,7
Земляника <i>Fragaria vesca</i> L.	3,8	1,8	6,0
Золотарник обыкновенный <i>Solidago virgaurea</i> L.	23,6	20,8	30,1
Иван-чай <i>Chamaenerion angustifolium</i> Scop.	9,0	7,7	17,3
Кислица обыкновенная <i>Oxalis acetosella</i> L.	56,6	66,0	81,2
Костяника каменистая <i>Rubus saxatilis</i> L.	45,4	15,9	40,1
Кукушкин лен <i>Polytrichum commune</i> Hedw.	23,0	–	–
Купырь лесной <i>Anthriscus sylvestris</i> L.	–	7,1	–
Ландыш майский <i>Convallaria majalis</i> L.	66,2	49,0	71,2
Луговик извилистый <i>Avenella flexuosa</i> L.	35,3	31,8	42,4
Майник <i>Maianthemum bifolium</i> L.	12,4	9,1	9,7
Малина обыкновенная <i>Rubus idaeus</i> L.	88,1	42,0	13,1
Марьяник лесной <i>Melampyrum silvaticum</i> L.	17,8	11,0	25,2
Ожика волосистая <i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	–	32,2	47,8
Подмаренник душистый <i>Galium odoratum</i> L.	5,3	0,8	8,8
Седмичник европейский <i>Trientalis europaea</i> L.	1,4	2,8	9,3
Хвощ лесной <i>Equisetum sylvaticum</i> L.	–	2,1	4,4
Черника обыкновенная <i>Vaccinium myrtillus</i> L.	143,2	71,3	44,4
Чина весенняя <i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.	12,1	4,7	20,7
Щитовник игольчатый <i>Dryopteris carthusiana</i> Vill.	92,8	161,7	111,0
Всего Total	1846,9	2290,8	1210,5

Таблица 3
Table 3

Фитомасса в живом напочвенном покрове и запасы углерода, кг/га
Phytomass in living ground cover and carbon stocks, kg/ha

Виды растений Plant species	Объект 1 Subject 1		Объект 2 Subject 2		Объект 3 Subject 3	
	Ф Ph	С C	Ф Ph	С C	Ф Ph	С C
Сосудистые растения <i>Tall plants</i>	882,9	406,1	842,6	387,6	920,8	423,6
Зеленые мхи <i>Mosses</i>	941,0	432,9	1448,2	666,2	289,7	133,3
Кукушкин лен <i>Polytrichum commune</i>	23,0	10,6	–	–	–	–
Всего <i>Total</i>	1846,9	849,6	2290,8	1053,8	1210,5	556,9

Примечание. Ф – фитомасса, С – углерод.
Note. Ph – phytomass, C – carbon.

Судя по опубликованным данным, под пологом спелых ельников в зависимости от типа леса фитомасса живого напочвенного покрова варьирует в широких пределах – от 1,8 до 8,0 т/га (Алексеев, Бердси, 1994). Максимальные запасы накапливаются в лесных фитоценозах кисличного типа леса, что необходимо учитывать в долгосрочных программах лесовосстановления и лесоразведения. Это позволит увеличивать объемы депонируемого углерода.

Выводы

1. Высокопродуктивные ельники спелого возраста характеризуются многоярусностью фито-

ценозов. Кроме древостоя, здесь всегда представлены и другие компоненты леса – подрост, подлесок и живой напочвенный покров. Фитомасса травостоя во многом зависит от видового состава растений и таксационных характеристик древостоя.

2. В живом напочвенном покрове ельника кисличного типа леса накапливается от 1210,5 до 2290,8 кг/га органического вещества, или 556,9–1053,8 кг/га углерода.

3. Максимальные запасы углерода накапливаются именно в лесных фитоценозах кисличного типа леса.

Список источников

Алексеев В. А., Бердси Р. А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск, 1994. 170 с.

Байтурина Р. Р., Султанова Р. Р. Анализ запасов углерода в почвах на участках карбонового полигона Республики Башкортостан // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 1. С. 9–16. DOI: 10.51318/FRET.2023.88.1.009

Грязькин А. В. Потенциальные запасы фитомассы в лесах Ленинградской области // Динамика запасов углерода в лесах Северо-Запада: экология, экономика и политика. СПб. : СПбГЛТА, 2003. С. 39–42.

Депонирование углерода основными лесообразующими древесными породами карбонового полигона Свердловской области / В. В. Фомин, В. Е. Рогачев, Е. М. Агапитов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 4. С. 28–36. DOI: 10.51318/FRET.2024.91.4.001

Запасы углерода в сосняках и ельниках Ленинградской области / А. В. Грязькин, Н. В. Беляева, И. А. Казы [и др.] // The scientific heritage. 2021. Vol. 2, № 64. С. 3–6. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-64-2-3-6

Кобак К. И., Трейфельд Р. Ф., Грязькин А. В. Динамика запасов углерода в живой биомассе лесов Ленинградской области // Динамика запасов углерода в лесах Северо-Запада: экология, экономика и политика. СПб. : СПбГЛТА, 2003. С. 21–38.

- Пат. 2084129 Российская Федерация, МКИ С6 А01 G 23/00. Способ учета подроста : № 94022328/13 : заявл. 10.06.1994 : опубл. 20.07.1997 / Грязькин А. В.
- Роль подлеска в формировании углеродного баланса в ельниках / М. И. Мунтяну, Д. Комауэ, Л. К. Волдаев [и др.] // Ресурсы и технологии: интеграция науки и бизнеса : матер. I Междунар. инж. форума. Петрозаводск : Петропресс, 2024. С. 165–169.
- Смирнов А. П., Грязькин А. В. Баланс органического вещества и режим CO₂ в таежных экосистемах. СПб. : СПбГЛТА, 2000. 200 с.
- Тутлянова А. А. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Новосибирск : Наука, 1988. С. 109–128.
- Углеродный бюджет степных экосистем России / И. Н. Курганова, В. О. Лопес де Гереню, А. Т. Жиенгалиев, В. Н. Кудеяров // Доклады академии наук. 2019. Т. 485, № 6. С. 732–735.
- Carbon and nitrogen pools in old-growth, Norway spruce mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting / L. Finer, H. Mannerkoski, S. Piirainen, M. Starr // Forest Ecology and Management. 2002. № 5880. P. 1–14.
- Cerny M. Biomass of *Picea abies* (L.) Karst. in Midwestern Bohemia // Scand. J. For. Res. 1990. Vol. 5. P. 83–95.
- Havas P., Kubin E. Structure, growth and organic matter content in the vegetation cover of an old spruce forest in Northern Finland // Ann. Bot. Fennici. 1983. Vol. 20. P. 115–149.
- Krankina O. N., Harmon M. E., Griaskin A. V. Nutrient stores and dynamics of woody detritus in a boreal forest : Northwestern Russia // Can. J. For. Res. 1999. 29. P. 20–32.
- Palumets J. K. Analysis of phytomass partitioning in Norway spruce. VIII Scr. Botanica. Tatra : Univ. Press, 1991. 95 p.

References

- Alekseev V. A., Birdsey R. A. Carbon in ecosystems of forests and bogs of Russia. Krasnoyarsk, 1994. 170 p.
- Baiturina R. R., Sultanova R. R. Analysis of carbon stocks in soils at the sites of carbon polygon of the Republic of Bashkortostan // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 1. P. 9–16. DOI: 10.51318/FRET.2023.88.1.009 (In Russ.)
- Carbon and nitrogen pools in old-growth, Norway spruce mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting / L. Finer, H. Mannerkoski, S. Piirainen, M. Starr // Forest Ecology and Management. 2002. № 5880. P. 1–14.
- Carbon budget of steppe ecosystems of Russia / I. N. Kurganova, V. O. Lopez de Guerenу, A. T. Zhiengaliev, V. N. Kudеyаrov // Reports of the Academy of Sciences. 2019. Vol. 485, № 6. P. 732–735. (In Russ.)
- Carbon deposition by the main forest-forming tree species of the Carboniferous polygon of the Sverdlovsk region / V. V. Fomin, V. E. Rogachev, E. M. Agapitov [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 4. P. 28–36. DOI: 10.51318/FRET.2024.91.4.001 (In Russ.)
- Carbon stocks in pine and spruce forests of the Leningrad region / A. V. Gryazkin, N. V. Belyaeva, I. A. Kazi [et al.] // The scientific heritage. 2021. Vol 2, № 64. P. 3–6. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-64-2-3-6 (In Russ.)
- Gryazkin A. V. Potential stocks of phytomass in the forests of the Leningrad region // Dynamics of carbon stocks in the forests of the North-West: ecology, economics and policy. Saint Petersburg : SPbFTA, 2003. P. 39–42. (In Russ.)
- Havas P., Kubin E. Structure, growth and organic matter content in the vegetation cover of an old spruce forest in Northern Finland // Ann. Bot. Fennici. 1983. Vol. 20. P. 115–149.
- Kobak K. I., Treifeld R. F., Gryazkin A. V. Dynamics of carbon stocks in living biomass of forests of the Leningrad region // Dynamics of carbon stocks in forests of the North-West: ecology, economics and policy. Saint Petersburg : SPbFTA, 2003. P. 21–38. (In Russ.)

- Krankina O. N., Harmon M. E., Griaskin A. V. Nutrient stores and dynamics of woody detritus in a boreal forest : Northwestern Russia // Can. J. For. Res. 1999. 29. P. 20–32.
- Palumets J. K. Analysis of phytomass partitioning in Norway spruce. VIII Scr. Botanica. Tatra : Univ. Press, 1991. 95 p.
- Pat. 2084129 Russian Federation, MKI C6 A01 G 23/00. Method for accounting of young generation of pine : № 94022328/13 : 10.06.1994 ; Published 20.07.1997 / Gryazkin A. V.
- Role of undergrowth in the formation of carbon balance in spruce forests / M. I. Munteanu, D. Comaue, L. K. Voldaev [et al.] // Resources and technologies: integration of science and business / Proceedings of the I International Engineering Forum. Petrozavodsk : Petropress Publishing House, 2024. P. 165–169. (In Russ.)
- Smirnov A. P., Gryazkin A. V. Organic matter balance and CO₂ regime in taiga ecosystems. Saint Petersburg : SPbFTA, 2000. 200 p.
- Titlyanova A. A. Biological productivity of grass ecosystems. Novosibirsk : Nauka, 1988. P. 109–128. (In Russ.)
- Cerny M. Biomass of *Picea abies* (L.) Karst. in Midwestern Bohemia // Scand. J. For. Res. 1990. Vol. 5. P. 83–95.

Информация об авторах

Марианна Ивановна Мунтяну – аспирант,
muntianu.marianna@gmail.com
Анатолий Васильевич Грязькин – доктор биологических наук, профессор,
lesovod@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7901-2180>
Наталья Валерьевна Беляева – доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
galbel06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8673-2824>
Минь Ань Хоанг – аспирант,
minhanh_hoang@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0003-3025-803X>
Леонид Константинович Волдаев – магистрант,
voldaev01@list.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9196-4191>
Джонас Комауэ – магистрант,
jkomahoue@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3047-4250>

Information about the authors

Marianna I. Munteanu – graduate student,
muntianu.marianna@gmail.com
Anatoly V. Gryazkin – Doctor of biological Sciences, Professor;
lesovod@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7901-2180>
Natalia V. Belyaeva – Doctor of agricultural Sciences, Professor;
galbel06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8673-2824>
Minh A. Hoang – graduate student,
minhanh_hoang@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0003-3025-803X>
Leonid K. Voldaev – master's student,
voldaev01@list.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9196-4191>
Jonas Komaue – master's student,
jkomahoue@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3047-4250>

Статья поступила в редакцию 14.04.2025; принята к публикации 07.05.2025.

The article was submitted 14.04.2025; accepted for publication 07.05.2025.
