

Научная статья

УДК 630*113(470.11)

doi: 10.34655/bgsha.2024.76.3.014

Влияние мезорельефа на формирование макроструктуры и теплотворной способности древесины сосны в подзоне средней тайги (Архангельская область)

Николай Александрович Неверов, Александр Леонидович Минеев

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаврова УрО РАН, Архангельск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Николай Александрович Неверов, na-neverov@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования заключалась в выявлении роли мезорельефа на формирование макроструктуры (ширина годичного слоя, доля поздней древесины) и теплотворной способности как производной смолопродуктивности древесины сосны. Исследования проведены в чистых сосняках брусничного типа на кварцевых песках в подзоне средней тайги Шенкурского лесничества Архангельской области. Всего заложена 21 пробная площадь (ПП) на 5 моренных холмах (участках) в верхней и нижней частях склонов северной и южной экспозиции. На ПП отбиралось по 12-15 кернов. Показатели макроструктуры определяли с помощью прибора Lintab 6. Теплотворную способность измеряли при помощи бомбового колориметра АБК-1В. Выявлены достоверные различия по ширине годичного слоя и содержанию поздней древесины как между ПП одного участка, так и между участками разной экспозиции и положения на склоне. По теплотворной способности различия недостоверны. Выявлено уменьшение ширины годичного слоя и доли поздней древесины в нижней части склона северной экспозиции. Полученные результаты свидетельствуют о значимости мезорельефа при формировании древесины сосны в условиях средней тайги.

Ключевые слова: мезорельеф, сосна, макроструктура древесины, теплотворная способность.

Благодарности. Исследования проведены в рамках государственного задания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук.

Original article

Influence of mesorelief on the macrostructure and heating value of pine wood in the middle taiga subzone (Arkhangelsk Region)

Nikolai A. Neverov, Alexander L. Mineev

Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Corresponding author: Nikolai A. Neverov, na-neverov@yandex.ru

Abstract. The aim of the study was to identify the role of mesorelief in the development of macrostructure (annual ring width, summerwood content) and heating value as a derivative of the resin productivity of pine wood. The research was carried out in pine forests of the pure cranberry-type located on quartz sands in the middle taiga of the Shenkursky forestry of the Arkhangelsk region. In total, 21 test areas (TA) were laid on 5 moraine hills (sections) in the upper and lower parts of the slopes of the northern and southern aspects. 12-15 test cores were selected for the TA. Macrostructure parameters were determined using the Lintab 6 device. The heating value was measured using the ABK-1B bomb calorimeter. Significant differences in the width of the annual layer and the content of summerwood were revealed both between the TA of one site and between sites of different aspects and position on a slope. The differences in heating value are not reliable. A decrease in the annual ring width and the summerwood content in the lower part of the slope of the northern aspect were found out. The results obtained indicate the importance of mesorelief for the development of pine wood under the condition of the middle taiga.

Keywords: mesorelief, pine, wood macrostructure, heating value.

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of state assignment No. 122011300380-5 of the Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Введение. Рельеф является косвенным абиотическим фактором и определяет направление и скорость потоков вещества и энергии [1] и способствует, а иногда определяет структуру, продуктивность и состав лесных насаждений [2-8]. В лесах Архангельской области преобладают хвойные древостои IV класса бонитета [9]. Наиболее продуктивные древостои приурочены к склонам гряд, моренных холмов и другим положительным формам рельефа [10]. Актуальность темы исследования заключается в малой изученности влияния мезорельефа на радиальный рост древесины сосны в подзоне средней тайги.

Цель исследований. Выявить роль мезорельефа при формировании макроструктуры и теплотворной способности древесины сосны.

Объекты и методы. Пробные площади (ПП) заложены в Шенкурском районе Архангельской области. Рельеф исследуемого района моренный, холмисто-грядовый. Почвы – подзолы иллювиально-железистые на кварцевых песках. ПП закладывались на склонах моренных холмов с южной и северной сторон в верхней и нижней частях склона. Однотипные, близкие к пессимальным, условия произрастания были выбраны в связи с тем, что в различных топоэкологических условиях у одних и тех же видов растений значительно трансформируется климатичес-

кий сигнал в изменчивости радиального прироста [10]. Однотипность почвенно-гидрологических условий и древостоя позволяют оценить вклад рельефа в радиальный рост древесины сосны. Всего исследовано 5 участков (У), на которых заложено 20 ПП и одна как фоновая на ровной поверхности. На ПП отбирались керны древесины сосны на высоте 1,3 м в направлении север-юг по 12-15 штук у наиболее крупных деревьев, не имеющих видимых повреждений. На ПП проводилось таксационное описание и морфометрические измерения древостоя (табл. 1). На ПП произрастают чистые сосновые древостои брусничного типа, полнотой 0,5-0,7. Напочвенный покров представлен брусникой и черникой в соотношении 80/20.

Параметры макроструктуры (ширина годичного слоя (ШГС), долю поздней древесины (ПД)) определяли с помощью прибора Lintab 6 и программного обеспечения TSAP-Win (версия 4.80) с точностью 0,01 мм. Теплотворную способность определяли по 3 кернам с каждой ПП. Керны делили на участки длиной 1,4 см и сушили в сушильном шкафу до абсолютно сухого состояния при температуре 103 °С, измерения проводили при помощи автоматизированного бомбового калориметра АБК-1В. Масса каждого сжигаемого образца составляла около 1 г. Настройка параметров калориметра, про-

ведение измерений и расчет данных проводили с помощью программного комплекса «Calorimeter-G09» и программы «SetupCalorimeter-G09».

Статистический анализ полученных данных проводили в программе Python (версия 2.7.12, 2016) пакет Sci Py (версия 0.18.1, 2016)

Результаты и обсуждение. ШГС колеблется в пределах от 0,7 мм (ПП 20) до 1,6 мм (ПП 17). Содержание ПД варьирует от 22,8% (ПП 12) до 31,1 (ПП3). Теплотворная способность изменяется в пределах 19696 Дж (ПП 19) до 21722 Дж (ПП 9).

При проведении дисперсионного анализа полученных данных ШГС в пределах каждого холма у древостоев, произрастающих в верхней и нижней частях склона южной экспозиции, различия недостоверны. На склонах северной экспозиции достоверные различия выявлены на У 3 (ПП 11-12). У ПП сходного положения на склоне, но разной экспозиции, достоверные различия выявлены на У 2, ПП5-7 (верх); У 3, ПП 9-11 (верх). Также выявлены достоверные различия между ПП различного положения и экспозиции (Ю низ-С верх): У 3, ПП 10-11; У 5, ПП 18-19

На ПП 13, 14, 15, 17 произрастают наиболее молодые древостои (50-70 лет) в фазе максимального радиального роста, поэтому их сравнение с другими ПП по величине радиального прироста и содержанию поздней древесины некорректно.

При дисперсионном анализе ШГС между различными холмами выявлены достоверные различия между ПП: - Ю верх – ПП 1-5, 5-9; Ю низ – нет; С верх – ПП 3-11, 5-7, 7-19, 15-19; С низ – 4-8, 4-16; Ю верх - С верх – 1-11, 1-19, 5-19, 9-11, 9-19; Ю верх – С низ – 1-8, 1-16, 9-16; Ю низ – с Верх – 2-11, 6-19, 6-11; Ю низ-С низ – нет; С верх – С низ 3-8, 3-16, 16-20, 11-16. С фоном различия достоверны у 9 ПП верхнего положения склона и различной экспозиции. Между молодыми древостоями достоверных различий по ШГС не выявлено ПП 13, 14, 15, 17 (табл. 2).

Дисперсионный анализ содержания ПД в пределах одного участка выявил

достоверные различия между ПП северной экспозиции У 1, ПП3-4; У 3, ПП 11-12; между Ю верх – С низ на У 3 ПП9-12; Ю низ – С низ У 3 ПП10-12; У 5, ПП 18-20. Между холмами сильные различия выявлены у У3 ПП12 (С низ), который имеет различия с большинством ПП. Достоверные различия между различными участками установлены между ПП Ю низ – ПП 10-18; С верх – ПП3-11; С низ - ПП 4-12, 8-12, 8-20, 12-20. Различного положения и экспозиции Ю верх – С низ ПП 6-20; Ю низ – С верх ПП 3-10; Ю низ – С низ 4-18; 6-20; 8-20; 16-18.

Отсутствие достоверных различий по ШГС и ПД между молодыми древостоями говорит, что различия по макроструктурным показателям начинают проявляться в приспевающих и спелых древостоях, прошедших этап максимального роста.

Теплотворная способность древесины сосны варьирует в пределах 19600-21400 Дж/га [11, 12]. Полученные нами данные укладываются в эти пределы (табл. 1). Достоверных различий между ПП не обнаружено, однако некоторое увеличение теплотворной способности отмечено в нижней части склона южной экспозиции (ПП 18) и уменьшение в верхней части склона обеих экспозиций (ПП 1, 19).

В пределах одного участка выявлены достоверные различия по ШГС и доле ПД между ПП разных экспозиций. В целом, изменчивость и достоверность различий по ШГС больше, чем по доле ПД. Выявленные различия могут быть обусловлены также различным генезисом и онтогенезом исследуемых древостоев. К примеру, ПП 13, 14, 15, 17 имеют явное искусственное происхождение, но разного способа посадки. В ПП 10-12 прошел беглый низовой пожар 17-летней давности. Мощность подстилки на ПП 19-20 более 10 см, что дополнительно снижает тепло- и воздухообеспеченность корней. На ПП 18 проведены выборочные рубки 15-летней давности. Все перечисленные выше факторы вносят свой значимый вклад в радиальный рост сосны, однако в совокупности с мезорельефом могут или улучшать, или ухудшать условия произрастания.

Таблица 1 – Геоморфометрические параметры ПП, макроструктура и теплотворные свойства древесины сосны

	Экспозиция	Положение на склоне	№ ПП	Угол наклона, °	Возраст древостоя, лет	Средние		Ширина годичного слоя, мм	Доля поздней древесины, %	Теплотворная способность, Дж/г
						высота, м	диаметр, см			
У 1	юг	верх	1	9	102	16	21	1,0±0,03	28,1±1,1	19,949±361,8
		низ	2	5	103	19	21	1,0±0,04	28,4±1,0	20919±826,5
У 2	север	верх	3	14	93	15	20	1,1±0,05	31,1±1,3	20552±575,7
		низ	4	18	94	16	20	1,1±0,05	27,5±1,1	20738±157,4
	юг	верх	5	2	96	18	16	0,8±0,04	30,8±1,5	20501±349,5
		низ	6	14	94	19	17	0,9±0,03	30,5±1,1	20269±418,2
У 3	север	верх	7	11	110	15	22	1,0±0,14	30,6±2,7	20868±430,8
		низ	8	16	116	16	21	0,8±0,02	29,5±0,8	20849±115,3
	юг	верх	9	12	88	12	18	1,0±0,03	29,0±1,0	21687±489,6
		низ	10	5	87	16	20	1,1±0,07	26,7±1,3	20005±808,2
У 4	север	верх	11	17	82	14	18	1,3±0,05	27,0±0,9	20618±258,0
		низ	12	10	93	15	21	1,0±0,04	22,8±1,1	20322±367,1
	юг	верх	13	5	54	12	15	1,3±0,07	26,1±1,2	20273±542,8
		низ	14	30	63	12	15	1,2±0,06	26,2±1,9	20391±201,2
У 5	север	верх	15	5	68	13	17	1,3±0,15	26,6±1,2	20546±465,4
		низ	16	20	116	16	21	0,9±0,04	27,3±1,1	20501±232,8
	юг	верх	17	5	75	12	17	1,6±0,09	26,6±0,6	20253±609,8
		низ	18	17	81	12	18	1,0±0,07	30,3±0,6	21722±425,4
Фон	север	верх	19	5	126	12	19	0,6±0,02	27,3±1,4	19696±619,8
		низ	20	13	115	14	17	0,7±0,03	26,2±1,0	20862±135,5
		-	21	0	90	15	17	0,9±0,03	28,7±0,6	20311±515,7

Таблица 3 – Достоверность различий между древостоями по содержанию поздней древесины

Участок Экспозиция Положение № ПП	У1			У2			У3			У4			У5			Фон				
	Ю		С	Ю		С	Ю		С	Ю		С	Ю		С					
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В		Н			
1	0,0	2,9	0,1	1,9	2,1	0,9	0,5	0,3	0,4	0,4	9,8	1,3	0,2	0,8	0,2	1,2	2,6	0,1	0,1	0,8
2	-	2,6	0,4	1,7	1,9	1,5	0,4	0,2	0,8	0,9	13,3	2,1	0,4	1,3	0,5	2,2	2,4	0,4	3,7	0,6
3	-	-	4,6	0,0	0,0	0,0	0,5	1,5	4,6	5,7	21,3	7,6	3,1	6,6	4,9	10	0,3	3,8	11,6	0,9
4	-	-	-	3,2	3,7	1,6	1,3	1,1	0,1	0,0	8,3	0,6	0,0	0,2	0,0	0,4	5,0	0,0	1,3	1,9
5	-	-	-	-	0,0	0,0	0,2	0,9	3,3	4,1	16,7	5,6	2,1	4,7	3,4	7,6	0,1	2,6	8,7	0,5
6	-	-	-	-	-	0,0	0,3	0,9	3,6	5,5	22,7	6,7	2,2	5,3	3,8	9,9	0,0	2,8	10,9	0,5
7	-	-	-	-	-	-	0,1	0,4	1,5	2,4	11,0	2,9	0,9	2,3	1,7	4,5	0,0	1,2	1,9	0,2
8	-	-	-	-	-	-	-	0,0	1,3	2,7	15,1	3,1	0,7	2,1	1,3	5,3	0,3	0,9	5,6	1,0
9	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	1,9	16,1	3,4	0,9	2,5	1,3	4,0	0,9	1,0	5,7	0,0
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	4,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,3	2,1
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	8,5	0,0	0,7	3,5
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,6	3,3	4,6	7,4	9,2	3,6	5,2	4,5	21,0
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,0	0,5	0,1	9,6	0,3	0,0	4,6
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,3	1,2
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,0	7,0	0,1	0,2	3,2
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	5,0	0,0	1,0	2,0
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,0	0,1	0,4	6,8
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,4	15,6	0,2
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	1,4
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,9
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

В целом, наблюдается снижение макроструктурных параметров у древостоев, произрастающих в нижних частях склонов. Это обусловлено как экспозицией, так и выраженной крутизной склонов. На склонах северной экспозиции ниже уровень радиации, что приводит к замедленному сходу снега весной, более низкой температуре и повышенному увлажнению почвы летом, что приводит к сокращению периода вегетации и снижению вегетативной активности, что и обуславливает низкую скорость радиального роста [13, 14]. Теплотворная способность напрямую зависит от смолопродуктивности [11], и ее повышенные значения на ПП южных экспозиций свидетельствуют о более высо-

кой физиологической активности сосны.

Заключение. Выявление четких закономерностей влияния мезорельефа на радиальный рост древесины сосны весьма сложно из-за различного генезиса и неоднородного онтогенеза древостоев. Однако выявленная тенденция уменьшения макроструктурных показателей как ширины годичного слоя, так и доли поздней древесины в древостоях, произрастающих в нижней части склонов северной экспозиции, говорит о значимости мезорельефа в процессе радиального роста сосны в подзоне средней тайги, что, в первую очередь, связано с перераспределением тепла.

Список источников

1. Floors R., Peca A., Gryning S.E. The effect of baroclinicity on the wind in the planetary boundary layer // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2015. Vol. 687. Pp. 619-630. <https://doi.org/10.1002/qj.2386>
2. Алексеев А.С., Никифоров А.А. Влияние рельефа на структуру и продуктивность лесных ландшафтов с применением 3D-моделирования на примере Лисинского учебно-опытного лесхоза // *Лесоведение*. 2014. № 5. С. 42-53. EDN: SQBWZR
3. Алексеев А.С., Черниховский Д.М. Анализ связей структуры и продуктивности лесов с морфометрическими характеристиками рельефа на примере ландшафтов Ленинградской области // *Лесоведение*. 2020. № 2. С. 99-114. EDN: SVWQTA. doi: 10.31857/S0024114820020035
4. Бурлакова Л.М., Хлуденцов Ж.Г. Влияние рельефа и свойств почв на запасы древесины в ленточных борах Алтая // *Лесоведение*. 2010. № 6. С. 61-64. EDN: NBKODN
5. Черниховский Д.М. Оценка взаимосвязей морфометрических характеристик рельефа с количественными и качественными характеристиками лесов // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2016. № 216. С. 69-90. doi: 10.21266/2079-4304.2016.216.69-90. EDN: WXDONJ.
6. Черниховский Д.М. Оценка связей морфометрических характеристик рельефа с количественными и качественными характеристиками лесов на основе цифровых моделей рельефа Aster и SRTM // *Сибирский лесной журнал*. 2017. № 3. С. 28-39. EDN: ZDPCDV. doi: 10.15372/SJFS20170303.
7. Шарый П.А., Смирнов Н.С. Механизмы влияния солнечной радиации и анизотропии местности на растительность темнохвойных лесов Печоро-Илычского заповедника // *Экология*. 2013. № 1. С. 11. EDN: ZDPCDV. doi: 10.7868/S0367059713010113.
8. Рахматуллина И.Р., Рахматуллин З.З., Мустафин Р.Ф. Распространение и продуктивность сосновых насаждений в зависимости от морфометрических показателей рельефа (на примере Бугульминско-Белебеевской возвышенности в пределах Республики Башкортостан) // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. № 1(50). С. 42-52. EDN: YGEZFP
9. Ильинцев А.С., Шамонтьев И.Г., Третьяков С.В. Современная динамика лесопользования в боральных лесах России (на примере Архангельской области) // *Лесотехнический журнал*. 2021. Т. 11. № 3 (43). С. 45-62. EDN: UMFAGO. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2021.3/4.
10. Бабушкина Е.А., Кнорре А.А., Ваганов Е.А., Брюханова М. В. Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев в зависимости от топоэкологических условий их произрастания // *География и природные ресурсы*. 2011. № 1. С. 159-166. EDN: NDRIPN.
11. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. *Справочник по древесине*. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
12. Тюкавина О.Н., Гудина А.Г. Теплотворная способность древесины сосны после низового пожара // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2019. № 229. С. 118-129. EDN: OUTUSN. doi: 10.21266/2079-4304.2019.229.118-129.
13. Щербаков Ю.А. Поступление и отражение прямой солнечной радиации на неодинаково ориентированных склонах в разных условиях / Влияние экспозиции на ландшафты. М.: Наука, 1970. С. 100-133.
14. Пикин С.Ф. *Гравитационно-кинетическая модель рельефа*. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2005. 380 с.

References

1. Floors R., Peca A., Gryning S.E. The effect of baroclinicity on the wind in the planetary boundary layer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2015; 687:619-630. doi:10.1002/qj.2386
2. Alekseev A.S., Nikiforov A.A. Effects of topography on the structure and productivity of forest landscapes using 3D modeling in terms of the Lisinsky educational and experimental forest enterprise. *Contemporary Problems of Ecology*. 2014;7(7):815-826. doi: 10.1134/S1995425514070026.
3. Alekseev A.S., Chernikhovskii D.M. Analysis of relations between the landscape morphometric characteristics and forest productivity (using the example of Leningrad oblast). *Contemporary Problems of Ecology*. 2020;13(7):730-741. doi: 10.1134/S1995425520070021.
4. Burlakova L.M., Khludentsov Zh.G. The influence of relief and soil properties on the wood stock in belt forests of the Altai region. *Lesovedenie*. 2010;6:61-64 (In Russ.)
5. Chernikhovskiy D.M. Assessment of relations hips between morphometric characteristics of relief with quantitative and qualitative characteristics of forests. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*. 2016;2016:69-90 (In Russ.). doi: 10.21266/2079-4304.2016.216.69-90.
6. Chernikhovskiy D.M. Assessment of the relationships between morphometric characteristics of relief with quantitative and qualitative characteristics of forests using ASTER and SRTM digital terrain models. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Siberian Journal of Forest Science). 2017;3:28–39 (In Russ.)
7. Shary P.A., Smirnov N.S. Mechanisms of the effects of solar radiation and terrain anisotropy on the vegetation of dark conifer forests in the Pechora-Ilych state biosphere reserve. *Russian Journal of Ecology*. 2013;44(1):9-17 (In Eng.)
8. Rahmatullina I.R., Rahmatullin Z.Z., Mustafin R.F. Distribution and productivity of pine plantations depending on the morphometric parameters of relief (by the example of Bugulma-Belebey upland within the republic of Bashkortostan). *The bulletin of Izhevsk state agricultural academy*. 2017;1(50):42-52 (In Russ.)
9. Ilintsev A., Shamont'ev I., Tretyakov S. Modern dynamics of forest use in the boreal forests of Russia (for example of the Arkhangelsk region). *Forestry Engineering Journal*. 2021;3(43):45–62. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2021.3/4.
10. Babushkina E.A., Vaganov E.A., Knorre A.A., Bryukhanova M.V. Transformation of climatic response in radial increment of trees depending on topoecological conditions of their occurrence. *Geography and Natural Resources*. 2011;32(1):80-86. doi 10.1134/S1875372811010148.
11. Borovikov A.M., Ugolev B.N. Handbook of wood. Moscow. Lesn. prom-st, 1989. 296 p. (In Russ.)
12. Tyukavina O.N., Gudina A.G. The calorific value of pine wood after a grassroots fire. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*. 2019;229: 118-129 (In Russ.). doi: 10.21266/2079-4304.2019.229.118-129.
13. Sherbakov Yu.A. The receipt and reflection of direct solar radiation on differently oriented slopes under different conditions / The effect of exposure on landscapes. In : *Vliyanie ekspozitsii na landshafty*. Moscow: USSR Academy of Sciences. 1970:100-133 (In Russ.)
14. Pikin S.F. Gravitational-kinetic relief model. Stavropol': Stavropol State University 2005. 380 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Николай Александрович Неверов – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы;

Александр Леонидович Минеев – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы.

Information about the authors

Nikolay A. Neverov – Candidate of Science (Agriculture), Senior Researcher, Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere;

Alexander L. Mineev – Candidate of Science (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere.

Статья поступила в редакцию 12.03.2024; одобрена после рецензирования 19.06.2024; принята к публикации 25.06.2024.

The article was submitted 12.03.2024; approved after reviewing 19.06.2024; accepted for publication 25.06.2024.