

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2024. № 4 (77). С. 123–130.

BuryatAgrarian Journal. 2024;4(77):123–130.

Научная статья

УДК 630*161 (581.5)

doi: 10.34655/bgsha. 2024.77.4.016

Влияние мезорельефа и подстилающих горных пород на распространение и продуктивность притундровых лиственничников (Архангельская область)

Николай Александрович Неверов, Александр Леонидович Минеев

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

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

Аннотация. Цель исследования – выявить взаимосвязь распространения и продуктивности лиственничников подзоны притундровой тайги с мезорельефом и подстилающими горными породами. В исследовании использованы архивные материалы лесоустройства 1960-1984 годов. По таксационным материалам выделялись лиственничники III, IV и V классов бонитета и выносились на векторный слой в программе ArcGIS. На основе глобальной цифровой модели рельефа ASTER GDEM в SAGA GIS рассчитывались угол наклона, экспозиция склона, топографический индекс влажности выделов. Статистический анализ проводился в Python (2.7212, 2016), пакет SciPy (0.18.1, 2016). Независимо от бонитета, лиственничники имеют сходный породный состав, 17% древостоев – чистые лиственничники, в остальных случаях присутствует ель, береза, реже сосна. Второй ярус представлен елью и березой в различной пропорции, лиственница встречается крайне редко. По типу леса преобладают черничники, в III классе бонитета встречаются кисличники, в IV и V – брусничники. По геоморфологическим условиям данные древостои произрастают в сходных условиях, 80-90% древостоев тяготеют к склонам ЮВ-ЮЗ экспозиций. Выявлена слабая достоверная обратная корреляция бонитета и экспозиции склонов, говорящая об увеличении продуктивности лиственничников на склонах ЮЗ экспозиции. Установлено, что 80% древостоев приурочены к территориям с неглубоким залеганием красноцветных песков пермского возраста (до 3 м), перекрытые грубообломочными (глыбы, щебень, дресва, пески) четвертичными отложениями. В остальных случаях – к карстующимся известнякам, а также к песчаным отложениям. Приуроченность лиственницы к четвертичным грубообломочным отложениям мощностью не более 3 м, подстилаемых пермскими красноцветными отложениями, и фрагментарно на территориях развития карста на известняках говорит о важности как дренажа, так и дополнительных источниках кальция и магния. Приуроченность лиственницы к склонам ЮВ-ЮЗ экспозиций свидетельствует о важности теплообеспеченности как для распространения, так и для продуктивности.

Ключевые слова. лиственница, бонитет, мезорельеф, притундровые леса.

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

The influence of mesorelief and underlying rocks on the distribution and productivity of sub-tundra larch forests (Arkhangelsk region)

Nikolay A. Neverov, Alexander L. Mineev

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

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

Abstract. The purpose of the study is to identify the relationship between the distribution and productivity of larch forests of the sub-tundra subzone with mesorelief and underlying rocks. The study used archival materials of the 1960-1984 forest management. According to the taxation materials, larch trees of III, IV and V bonitet were defined and placed on a vector layer in the ArcGIS program. Based on the global digital relief model ASTER GDEM in SAGA GIS, the slope angle, slope exposure, and topographic moisture index of the allotments were calculated. Statistical analysis was performed in the Python (2.7.212, 2016), package SciPy (0.18.1, 2016). Regardless of the bonitet, larch forests have a similar species composition, 17% of stands are pure larch forests, in other cases there are spruces, birches, rarely pines. The second layer is represented by spruce and birch in different proportions, larch occurs extremely rare. According to the forest types, blueberry forests predominate, in the III capacity class there are sorrels, the IV and V capacity classes are represented by cowberry forests. According to geomorphological conditions, the stands grow under similar conditions, 80-90% of the stands tend to the slopes of the SE-SW expositions. A weak valid inverse correlation of the bonitet and a slope exposure was determined, indicating an increase in the productivity of larch trees on the slopes of the southern exposure. It was found out, that 80% of stands were confined to areas with shallow occurrence of Permian red-colored sands (up to 3 m), overlain by coarsely-fragmented (blocks, crushed stone, grus, sands) quaternary deposits; the rest stands were confined to karsting limestones as well as sandy deposits. Confinedness of larch to quaternary coarse-grained deposits with a thickness of no more than 3 m, underlain by the Permian red-coloured sediments and, fragmentally, to the territories of karst development on limestone, indicates the importance of both drainage and additional sources of calcium and magnesium. Confinedness of larch to the slopes of the SE-SW expositions indicates the importance of heat supply, both for distribution and productivity.

Keywords: larch, bonitet, mesorelief, sub-tundra forests.

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

Введение. Средний класс бонитета для хвойных древостоев Архангельской области – IV [1]. Продуктивность лесов региона обусловлена градиентами тепла, влаги и элементами минерального питания. Геологические и геоморфометрические факторы вносят существенный вклад в изменение направления и скорости потоков вещества и энергии, что способствует произрастанию древостоев различной продуктивности и состава в сходных почвенно-грунтовых условиях [2-4].

Лиственница не является широко распространенной древесной породой в Архангельской области, ее доля составляет

менее 0,25 % от лесопокрытой площади, 95% всей лиственницы произрастает на территории Беломорско-Кулойского плато на площади 375 тыс. га, до 3 единиц в составе насаждений [5].

Считается, что наиболее продуктивные лиственничники приурочены к территориям с неглубоким залеганием или выходом на дневную поверхность дочетвертичных отложений, в первую очередь, известняков [6]. На пермских и каменноугольных отложениях, представленных гипсами, известняками и красноцветными песками, формируются наиболее продуктивные почвы (рендзины и буроземы) [7].

Однако кальцийсодержащие породы погребены четвертичными ледниковыми (суглинки, супеси) и флювиогляциальными (пески) отложениями мощностью до 50 м. Карстовые формы в рельефе представлены долинными проявлениями [8].

На 1966 г. лиственничные древостои II и III классов бонитета занимали 6% от лесного фонда¹. Наиболее продуктивные (I-III класс бонитета) произрастали в бассейнах рек Мехреньга, Емца, Пинега, Мезень и на 1965 г. их площадь составляла менее 6% от всех лиственничных древостоев региона².

Цель исследований. Выявить взаимосвязь распространения и продуктивности лиственничников с мезорельефом и подстилающими горными породами в подзоне притундровой тайги Архангельской области.

Объекты и методы. Исследования проводились по материалам лесоустройства Кулойского лесничества Мезенского лесхоза за 1960 г., Кулойского лесничества Пинежского лесхоза за 1984 г., Беломорского лесничества Архангельского мехлесхоза за 1979 г. и Юромского лесничества Лешуконского лесхоза за

1980 г.³. Столь давние материалы лесоустройства позволили выделить наибольшее количество древостоев с преобладанием лиственницы, не затронутых активной лесозаготовительной и горнодобывающей деятельностью.

Всего отобрано 164 выдела с преобладанием лиственницы: 118 – III класса, 20 – IV класса и 26 – V класса бонитета. Ориентируясь по лесоустроительным планам, отмеченные выдела переносились на векторный слой в ГИС ArcGIS 10.2. Таксационные характеристики отмеченных выделов сходны (табл. 1). Следует отметить, что в составе древостоя 1-го яруса при уменьшении доли лиственницы и ели появляется береза, ее доля может достигать 3 единиц. Во втором ярусе ель может отсутствовать, тогда береза составляет до 10 единиц в составе; редко присутствует лиственница, не более 1 единицы, лишь в одном выделе второй ярус – чистый лиственничник. В древостоях III класса бонитета преобладает черничный тип леса, встречается кисличный. Тип леса в выделах IV и V классов бонитета, в основном, черничный, реже брусничный.

Таблица 1 – Средние таксационные характеристики исследуемых древостоев

Состав древостоя	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Полнота	Запас, м ³ /га
1 ярус – 8Л2Е (+Б)	210-250	21-28	32-52	0,3-0,8	100-250
2 ярус – 8Е2Б (+Л)					

Для анализа подстилающих горных пород использовались растровые карты из Атласа Архангельской области⁴. Для расчета геоморфометрических парамет-

ров использовалась цифровая модель рельефа Архангельской области, разработанная на основе свободно распространяемой глобальной цифровой модели

¹ Мелехов И.С. Леса Севера Европейской части СССР // Леса СССР. М.: Наука, 1966. Т.1. 456 с.

² Калинин В.И. Лиственница Европейского Севера. М.: Лесная промышленность, 1965. 90 с.

³ Проект организации и ведения лесного хозяйства Пинежского лесхоза. Том I. Архангельск, 1984. Рукопись; Проект организации и ведения лесного хозяйства Мезенского лесхоза. Том I. Архангельск, 1960. Рукопись; Проект организации и ведения лесного хозяйства Лешуконского лесхоза. Том I. Архангельск, 1980. Рукопись; Проект организации и ведения лесного хозяйства Архангельского мехлесхоза, Том I, Архангельск, 1979. Рукопись, Архив ФГУП «РОСЛЕСИНФОРГ».

⁴ Атлас Архангельской области. Москва: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1976. 72 с.

рельефа ASTER GDEM (версия 2, 2011) в SAGA GIS (версия 6.4.0, 2018), с помощью которой рассчитывались: угол наклона, экспозиция склона, топографический индекс влажности, анизотропное распределение суточного тепла. Геоморфометрические условия произрастания исследуемых древостоев представлены в таблице 2. Статистический анализ полученных

данных проводился в программе Python (2.7212, 2016), пакет SciPy (0.18.1, 2016). Для выявления влияния рельефа на бонитет проводился расчет корреляции между наибольшим, наименьшим и средним значениями угла наклона, экспозиции, топографического индекса влажности и анизотропного распределения суточного тепла и табличными значениями бонитета.

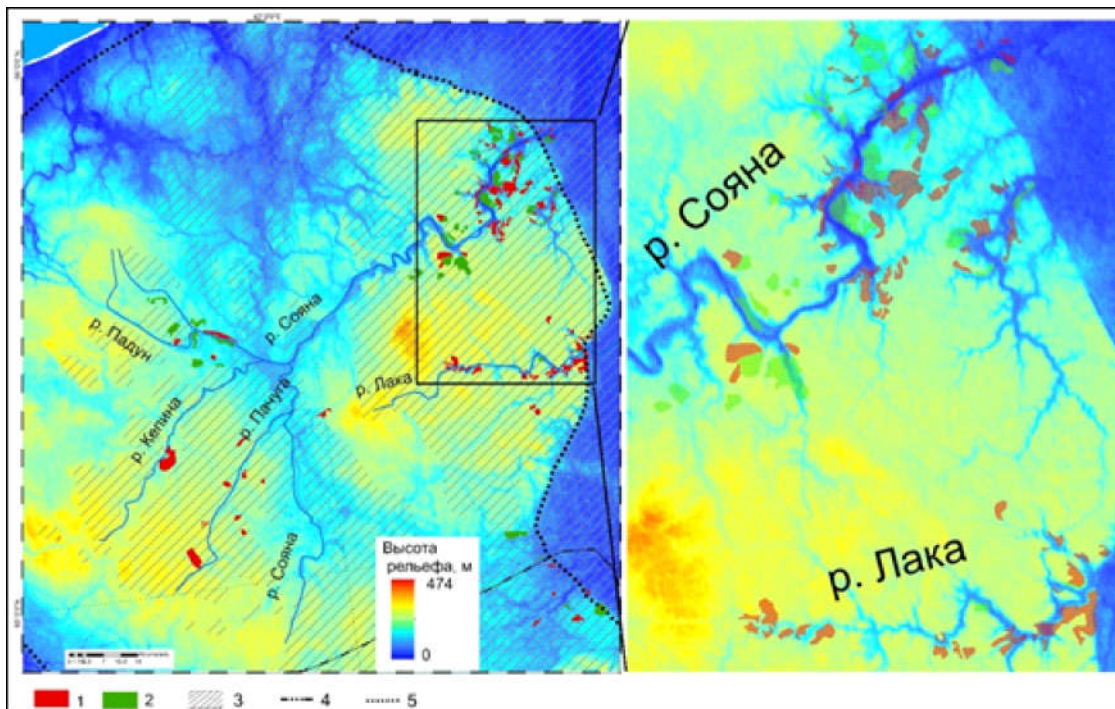


Рисунок 1. Схема расположения исследуемых лиственничников.

- 1 – лиственничники III класса бонитета; 2 – лиственничники IV и V классов бонитета;
- 3 – зона распространения кальцийсодержащих пород; 4 – южная граница притундровых лесов; 5 – граница Беломорско-Кулойского плато

Таблица 2 – Геоморфометрические показатели исследуемых древостоев

Параметр	III класс бонитета	IV-V класс бонитета
Угол наклона (max-min), °	2 (0,1-9,3)	1,3 (0,1-3,5)
Экспозиция	ЮВ--ЮЗ	ЮВ--ЮЗ
Топографический индекс влажности (max-min), среднее*	12,5 (9,4-22,0)	12,1 (10,0-22,2)
Анизотропное распределение суточного тепла, среднее *	0,01	-0,05

*Примечание: значения являются коэффициентами

Результаты и обсуждение. Основной объем исследуемых древостоев произрастает в восточной части Беломорско-Кулойского плато на коренном берегу рек Сояна и Лака и единично в долинах вышеуказанных рек. Подстилающие горные породы представлены известняками, гипсами, ангидритами, доломитами и

красноцветными отложениями (рис. 1). Независимо от бонитета, лиственничники произрастают в нижнем течении рек Сояна и Лака на четвертичных отложениях мощностью до 3 м, представлены глыбами, щебнем, дресвой и песками, подстилаемые пермскими красноцветными отложениями (84%). На территориях без

кальцийсодержащих пород произрастает 5% древостоев. 11% древостоев произрастет на территориях, подстилаемых известняками и гипсами в зоне развития поверхностного карста (рис. 2).

Следует отметить отсутствие древостоев с преобладанием лиственницы на территориях, перекрытых маломощным

(до 3 м) чехлом суглинков и супесей, подстилаемых кальцийсодержащими породами. Вероятно, это связано с тем, что данные отложения оптимальны по почвенно-грунтовым условиям для произрастания ели, и лиственница не выдерживает конкуренции [6].

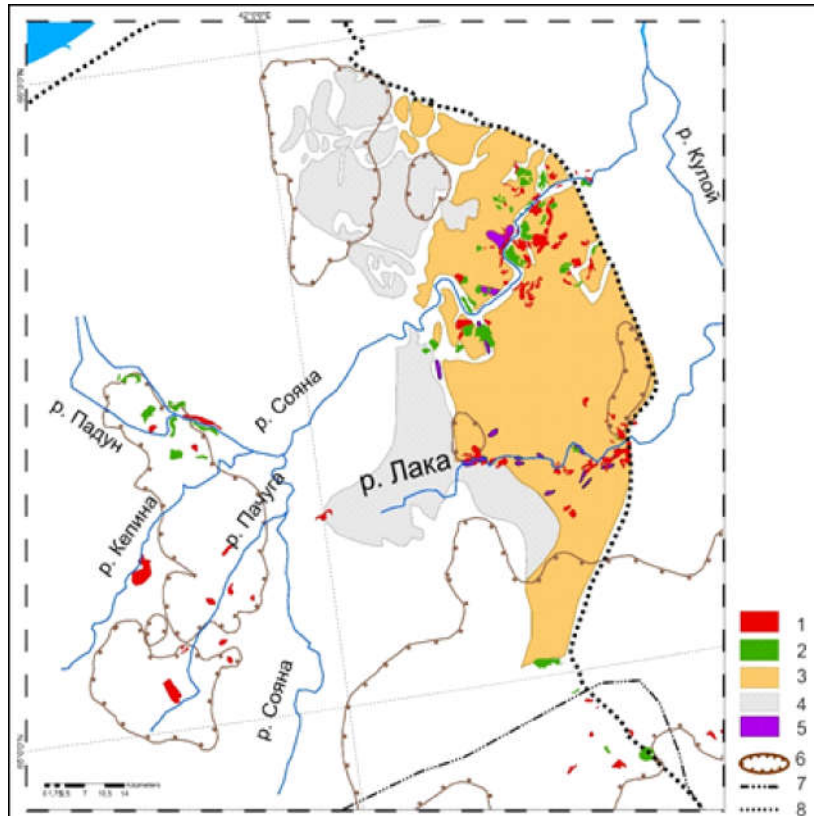


Рисунок 2. Карта распространения лиственничников на четвертичных отложениях, 1 – лиственничники III класса бонитета; 2 – лиственничники IV и V классов бонитета; 3 – четвертичные элювиально-делювиальные отложения (щебень, дресва, пески); 4 – отложения проблемного генезиса перегляциальной зоны (супеси, суглинки); 5 – дочетвертичные породы; 6 – площади развития карста; 7 – южная граница притундровых лесов; 8 – граница Беломорско-Кулойского плато

Геоморфометрические условия произрастания исследуемых древостоев однородны, и основной объем древостоев тяготеет (80-90%) к склонам ЮЗ-ЮВ экс-

позиций. На рисунке 3 показано распределение лиственничников относительно экспозиции склонов.

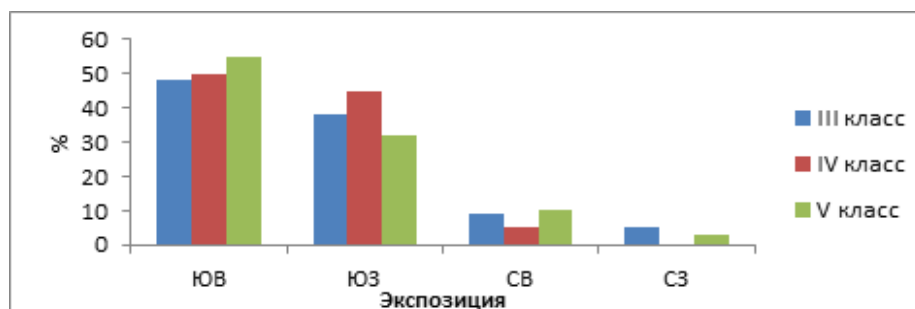


Рисунок 3. Приуроченность лиственничников относительно экспозиции склонов

Таблица 3 – Корреляционный анализ Спирмена между классами бонитета и геоморфометрическими параметрами

Параметр	Min	Max	Среднее
Угол наклона	-0,07	-0,12	-0,02
Экспозиция			-0,20
Топографический индекс влажности	0,03	-0,02	-0,1
Анизотропное распределение суточного тепла	0,17	0,05	0,11

Примечание: достоверные значения корреляции при $p \leq 0,05$ выделены черным

Статистический анализ бонитета и геоморфометрических параметров выделов показал достоверную слабую обратную корреляцию бонитета и экспозиции, что говорит о повышении класса бонитета при изменении экспозиции 0-360° (от севера) по часовой стрелке, т.е. чем ближе к северо-западу (270-300°), тем выше класс бонитета (табл. 3). Полученные корреляции говорят о значимости теплообеспеченности в продуктивности лиственничных насаждений в регионе исследования [9].

Важной особенностью исследуемых древостоев является их близость к полярному кругу, поэтому в активный период вегетации (июнь-июль) длительность ночи не превышает более 1 часа. Благодаря этому лиственница использует свой фотосинтетический потенциал и как минимум на 1 класс бонитета опережает ель и сосну по продуктивности [5].

Есть мнение, что лиственница на Европейском Севере приурочена к кальцийсодержащим почвам¹²³. По другим данным лиственница произрастает на них не в силу наличия кальция, а благодаря повышенной дренированности данных горных пород⁴. Также следует учесть, что в северной тайге ведущую роль в опаде играет хвоя (более 50%). Клеточный сок хвои ели, сосны и лиственницы содержит свободные органические кислоты (рН 4,5-5,5). Разложение органического матери-

ала идет медленно из-за невысоких температур воздуха с коротким периодом положительных температур. К тому же отсутствуют некоторые почвенные микроорганизмы. Это приводит к дефициту оснований Mg, Na, K в золе при отсутствии их в материнской породе и обуславливает кислый характер почвенных растворов. Часть органических кислот находится в свободной форме, формируя кислую реакцию лесной подстилки и верхних горизонтов почвы. Минерализация и гумификация ослаблены, активно идет образование фульвокислот. Они нейтрализуются за счет Fe и Al почвенных минералов. При уменьшении глубины залегания кальцийсодержащих пород снижается кислотность и скорость вымывания Mg, K, P и Na, что приводит к лучшему перегниванию лесной подстилки и повышает почвенное плодородие в условиях северной тайги [10], что сказывается на продуктивности древостоев в целом и лиственницы в частности. Так, в подзоне притундровой тайги, в междуречье рек Пинега, Келда и Кулой лиственничники на кальцийсодержащих породах формируют насаждения III и иногда II бонитета [6]. Однако данный механизм возможен при непосредственном присутствии кальцийсодержащих пород в корнеобитаемом слое (30 см).

Пермские красноцветные отложения восточной части Беломорско-Кулойского

¹ Кашин В.И., Козобродов А.С. О северной границе лиственницы в Архангельской области // Ботанический журнал, 1966. Т. 51. № 3. С. 402-403.

² Кашин В.И. Возобновление лиственницы под пологом древостоев в северо-восточной части Архангельской области // Лиственница. Красноярск, 1968. Т. III. С. 216-222.

³ Ткаченко, М.Е. Леса Севера. «Труды по лесному опытному делу в России» / М.Е. Ткаченко. Вып. XXV. П. 1911.

⁴ Зайцев Б.Д. Лес и почвы Северного края. Архангельск, 1932. 96 с.

плато помимо Са обогащены Mg [11], который является одним из важнейших биофильных макроэлементов, входит в состав хлорофилла и участвует в физиологических внутриклеточных процессах [12]. Вероятно, данные элементы способствуют повышению показателей продуктивности и активной конкуренции лиственницы с елью.

Заключение. В условиях притундровой тайги на территории Беломорско-Кулойского плато основным фактором распространения древостоев с преоблада-

нием лиственницы являются бедные четвертичные отложения (щебень, дресва, песок), подстилаемые пермскими красноцветными отложениями на глубине не более 3 м. В данных условиях лиственница успешно конкурирует с елью и длительное время сохраняет свое доминирование. Мезорельеф является в большей степени фактором продуктивности лиственничных древостоев, в первую очередь, через перераспределение тепла и в меньшей степени – распространения лиственницы.

Список источников

1. Ильинцев А.С., Шамонтьев И.Г., Третьяков С.В. Современная динамика лесопользования в бореальных лесах России (на примере Архангельской области) // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 3 (43). С. 45–62. EDN: UMFAGO. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/4
2. Алексеев А.С. Черниковский 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
3. 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
4. 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
5. Торхов С.В., Трубин Д.В. Лиственница в лесах Архангельской области: состояние, динамика, использование // Материалы регионального рабочего совещания «Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство», 1-3 июля 1998. Архангельск, 2002. С. 5-22.
6. Кашин В.И., Козобродов А.С. Лиственничные леса Европейского Севера России. Архангельск: Изд-во Архангельского филиала Русского географического общества РАН, 1994. 219 с.
7. Горячкин С.В., Спиридонова И.А., Седов С.Н., Таргульян В.О. Северотаежные почвы на плотных гипсах: морфология, свойства, генезис // Почвоведение, 2003. № 7. С. 773-785.
8. Shavrina E.V. Role of continental glaciations in karst development of Russian European North / E.V. Shavrina, V.N. Malkov, E.I. Gurkalo, Mavlyudov B.R. : Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and Polar Regions. Russia. Moscow: Institute of geography of the Russian Academy of Sciences. 2005. Pp. 118-122.
9. 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.
10. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель, 1999. 768 с.
11. Лесовая С.Н. Генезис и география почв на красноцветных породах Европейской территории России: автореф. дис... доктора географических наук. Санкт-Петербург, 2006. 34 с.
12. Физиология растительных организмов и роль металлов / Кожанова О.Н., Дмитриева А.Г., Чернавская Н.М. и др. М.: Изд-во МГУ, 1989. 155с.

References

1. 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 (In Russ.). doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/4
2. 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
3. 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 .
4. 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.)

5. Torkhov S.V., Trubin D.V. Larch in the forests of the Arkhangelsk region: state, dynamics, use // Materials of the regional workshop "Larch forests of the Arkhangelsk region, their use and reproduction", July 1-3, 1998, Arkhangelsk, 2002:5-22 (In Russ.)

6. Kashin V.I., Kozobrodov A.S. Larch forests of the European North of Russia. Arkhangelsk: Publishing House of the Arkhangelsk branch of the Russian Geographical Society of the Russian Academy of Sciences, 1994. 219 p. (In Russ.)

7. Goryachkin S.V., Spiridonova I.A., Targulian V.O., Sedov S.N. Boreal soils on hard gypsum rocks: morphology, properties, and genesis. *Eurasian Soil Science*. 2003;36(7):691-703 (In Russ.)

8. Shavrina E.V., Malkov V.N., Gurkalo E.I. Role of continental glaciations in karst development of Russian European North. Ed Mavlyudov B.R. : *Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and Polar Regions*. Russia. Moscow: Institute of geography of the Russian Academy of Sciences. 2005. Pp. 118-122.

9. Sherbakov Yu.A. The receipt and reflection of direct solar radiation on differently oriented slopes under different conditions. *The effect of exposure on landscapes*. Moscow: Nauka. 1970:100-133 (In Russ.)

10. Perelman A.I., Kasimov N.S. Geochemistry of the landscape. Moscow. Astraea 2000, 1999. 768 p. (In Russ.)

11. Kozhanova O.N., Dmitrieva A.G. The physiological role of metals in the vital activity of plant organisms. Moscow: Moscow State University, 1989. 55 p.

12. Physiology of plant organisms and the role of metals / Kozhanova O.N., Dmitrieva A.G., Chernyavskaya N.M. et al. Moscow State University Publishing House, 1989. 155 p.

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 (Geological and Mineralogical), Senior Researcher, Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere.

Статья поступила в редакцию 18.04. 2024; одобрена после рецензирования 25.10.2024; принята к публикации 29. 10. 2024.

The article was submitted 18.04.2024; approved after reviewing 25.10.2024; accepted for publication 29.10.2024.