

## Данные цифрового моделирования рельефа в изучении распределения лиственницы в северо-таёжных ландшафтах Русской равнины

Е. В. Полякова, Н. А. Неверов, А. Л. Минеев

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени академика Н. П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, 163020, Россия  
E-mail: lenpo26@yandex.ru*

Проанализирована взаимосвязь между количественными показателями рельефа и распространением лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) на севере Русской равнины. Рельеф, как наиболее стабильный компонент ландшафта, может определять закономерности распределения, роста и продуктивности лесобразующих древесных пород. На территории Архангельской области лиственница не является широко распространённой хвойной породой, относится к категории реликтовой и исчезающей, занимает около 0,25 % лесопокрытой площади и практически вся сосредоточена на территории Беломорско-Кулойского плато, где встречается в составе как темно- и светлохвойных, так и смешанных и лиственных лесов. Установлено, что геоморфометрический анализ цифровой модели рельефа может выступать объективным количественным инструментом при изучении территориального распределения смешанных лесов с участием лиственницы и отдельных лиственничных насаждений. При проведении геоморфометрического анализа цифровой модели рельефа выявлено, что леса с включением лиственницы в большинстве своём пространственно приурочены к выходам коренных, зачастую карстующихся пород на дневную поверхность, имеют обратную взаимосвязь с плотностью бессточных впадин и болот, т.е. располагаются на возвышенных и более сухих участках. Таким территориям характерны минимальные углы наклона, индексы расчленённости и индексы влажности. Однако отдельные лиственничные насаждения всё же приурочены к возвышенным расчленённым территориям, к склонам карстовых логов и рек северо-восточной и северо-западной экспозиции, где возникают участки с локальным переувлажнением.

**Ключевые слова:** Русская равнина, цифровая модель рельефа, геоморфометрические параметры, лиственница, Беломорско-Кулойское плато, карст

Одобрена к печати: 17.10.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-1-153-165

### Введение

На территории Русской равнины в бореальный период (~8–9 тыс. лет назад) лиственница была распространена гораздо шире, чем в нынешнее время (Герасимов, 1926; Крашенинников, 1939). Так, остатки лиственничных насаждений были найдены в торфяниках под Псковом (Арапов, 1914; Кузнецова, 1927), на территории, совершенно лишённой этой породы в настоящее время. Об этом говорят островки лиственницы у реки Онеги, разделённые часто значительными расстояниями. А также куртины лиственницы в сосновых борах в Костромской области (Матренинский, 1917; Дубенок и др., 2023). Лиственница заселила территорию, освобождающуюся от ледников, одной из первых, а затем уступила место на севере Русской равнины более теневыносливым породам — ели, пихте и, частично, сосне (Сукачев, 1934).

На современном этапе, в частности со времён Петра I и до последней четверти XIX в., наряду с дубовыми лесами Поволжья лиственница относилась к категории корабельных лесов и служила отечественному военному и торговому кораблестроению. Корабельные рубки уже ко второй половине XIX в. истощили лиственничные леса Европейского Севера (Редько, Бабич, 1993). Помимо кораблестроения лиственницу активно использовали при строительстве домов, церквей, мельниц, бань, колодцев, мостов, а также оборонительных сооружений. По своим основным показателям (быстрый рост, долговечность, физико-

механические свойства древесины, устойчивость к неблагоприятным климатическим условиям и т. п.) лиственница превосходит дуб в лучших районах его произрастания. За это лиственницу прозвали «северным дубом» (Кашин, Козобродов, 1994; Торхов, Трубин, 2002).

В настоящее время на севере Русской равнины лиственница сибирская (*Larix sibirica*) входит в состав еловых и сосновых лесов. На территории Архангельской области она не является широко распространённой хвойной породой, относится к категории реликтовой и исчезающей, занимает около 0,25 % лесопокрытой площади (Торхов, Трубин, 2002; Третьяков, 2002). Хотя, согласно работе (Редько, Бабич, 1993, с. 12): «При первом описании лесов Архангелогородской губернии в 1948 г. вдоль Северной Двины и впадающих в нее рек (до 25 верст от берегов) на 2600 квадратных верстах лиственничный лес занимал 1900 квадратных верст, или 73 %». Поэтому восстановление этой ценной древесной породы и сохранение её генетического фонда становится актуальной задачей лесопромышленного комплекса России в целом и Архангельской области в частности.

Считается, что лиственница на Европейском Севере тяготеет к кальцийсодержащим почвам (Кашин, Козобродов, 1994). Однако возможно, что она произрастает на подобных почвах не в силу наличия кальция, а за счёт их повышенной дренированности (Neverov et al., 2017). Рельеф, как наиболее стабильный компонент ландшафта, может определять закономерности распределения, роста и продуктивности лесообразующих древесных пород. Имеется ряд работ, в которых оцениваются взаимосвязи морфометрических показателей рельефа с различными характеристиками лесов (Алексеев, Черниховский, 2020; Рахматуллина и др., 2017; Черниховский, 2017). Авторами ранее проводился анализ влияния геоморфометрических показателей рельефа на продуктивность лиственничников (Неверов, Минеев, 2024а; Неверов и др., 2023), формирование структуры древесины сосны (Неверов, Минеев, 2024б; Неверов и др., 2024; Neverov et al., 2019). Цель настоящей статьи заключается в определении взаимосвязи между геоморфометрическими параметрами рельефа, рассчитанными на основе цифровой модели рельефа (ЦМР), и распространением лиственницы на севере Русской равнины.

## Характеристика района исследования

Беломорско-Кулойское плато (БКП) — это плоскоравнинная возвышенность на севере материковой части Архангельской области с абсолютными высотами 90–230 м над уровнем моря. На востоке оно круто обрывается к низменной, пологохолмистой и сильно заболоченной Мезенской равнине. С южной стороны БКП не имеет чётко выраженных границ. К долине реки Пинеги оно выходит крутым уступом высотой около 30 м (Малков и др., 2001). Территория сложена карбонатными породами каменноугольного и карбонатными и сульфатными породами пермского возраста. Климатически соответствует северной и притундровой подзонам тайги Русской равнины. Лесистость плато составляет порядка 70 %, из них на ельники приходится 67 %, березняки — 16 %, сосняки — 14 % и лиственничники — 3 % (Браславская и др., 2017).

В отличие от других хвойных пород на территории БКП лиственница крайне редко образует чистые насаждения. Чаще она встречается как составляющая порода в еловых, сосновых и смешанных древостоях. Большинство лиственничников имеет возраст от 180 до 280 лет. Это одна из самых долгоживущих пород, достигает высоты 25 м и более и практически не возобновляется под пологом леса (Браславская и др., 2017). Леса с включением лиственницы, а также отдельные лиственничные насаждения произрастают на склонах, часто крутых и обрывистых, тяготеют к долинам рек, где занимают как заливаемые участки пойм, так и приподнятые плоские террасы (рис. 1, см. с. 155). В северной и западной части плато лиственница крайне редка.

Территория БКП является уникальной, поскольку здесь, с одной стороны, ведётся активное хозяйственное освоение (разработка алмазов открытым карьерным способом, вырубка лесов и лесозаготовки и пр.), с другой — сохранены коренные, не затронутые антропогенной

деятельностью леса. Кроме того, это территория с активным развитием и проявлением карста (как поверхностного, так и подземного) и, как следствие, наличием разнообразных и уникальных форм рельефа. Малая мощность перекрывающих четвертичных отложений способствует близкому залеганию и выходам на поверхность карбонатных (известняки и доломиты) и сульфатных (гипсы и ангидриты) пород каменноугольной и пермской систем.



а

б

Рис. 1. Леса с участием лиственницы на гипсовых обнажениях долины реки Сотки (а) и отдельные выходы лиственницы на карбонатных берегах реки Пинеги (б)

## Материалы и методика работ

В исследовании использовались контуры лесов с участием лиственницы, согласно работе (Кашин, Козобродов, 1994). Данные об отдельных лиственничных насаждениях брались из материалов лесоустройств Кулойского лесничества Мезенского и Пинежского лесхозов, Беломорского лесничества Архангельского лесхоза и Юромского лесничества Лешуконского лесхоза за 1980–1984 гг. Столь давние материалы лесоустройств позволили выделить наибольшее количество древостоев с преобладанием лиственницы, не затронутых активной лесозаготовительной и горнодобывающей деятельностью. В настоящее время лиственница активно выпадает из древостоя в результате поражения дереворазрушающими грибами и в силу своего внушительного возраста.

В работе (Асеев, 1974) приведены данные о глубине залегания коренных пород (осадочного чехла) на исследуемой территории. На их основе в программном комплексе SAGA GIS построен растр топографической поверхности залегания коренных пород (по сути ЦМР поверхности осадочного чехла). Разность между растрами дневного рельефа и рельефом коренных пород позволяет сформировать растр выхода коренных пород на поверхность.

Данные о закарстованности территории БКП, приведённые в публикации (Торсуев, 1985), обработаны авторами в программной среде ESRI ArcGIS, переведены в векторный формат (Полякова и др., 2025), сопоставлены с контурами распространения лесов с участием лиственницы по работе (Кашин, Козобродов, 1994). Также данные контуры были сопоставлены с плотностью бессточных впадин, выделенных и обработанных при гидрологической коррекции ЦМР (Полякова и др., 2021), и плотностью болот (Губайдуллин, 2002) на территории БКП.

Расчёт основных геоморфометрических параметров (угол наклона (*англ.* slope), индекс расчленённости TRI (*англ.* Terrain Ruggedness Index), топографический индекс влажности TWI (*англ.* Topographic Wetness Index), экспозиция склонов (*англ.* aspect)) осуществлялся с применением ЦМР, построенной на основе глобальной ЦМР ASTER GDEM v.2 и адаптированной для территории Архангельской области (Кутинов и др., 2019) в программной среде SAGA GIS. Такие параметры, как угол наклона, индекс расчленённости, топографический индекс влажности, подвергались кластерному анализу с применением модуля K-Means Clustering for Grids с разбиением на три класса — минимальных, средних и максимальных значений. Значения экспозиции склонов были объединены в четыре румба, где северо-восточной (СВ) ориентации соответствовали значения от 0 до 45°, юго-восточной (ЮВ) — от 45 до 90°, юго-западной (ЮЗ) — от 90 до 135° и северо-западной (СЗ) — от 135 до 180°. Подсчитывалась доля (в %) площадного покрытия каждым классом внутри контуров распространения лесов с участием лиственницы. Затем находились пересечения полигонов внутри каждого кластера с помощью модуля Intersect по следующей схеме:

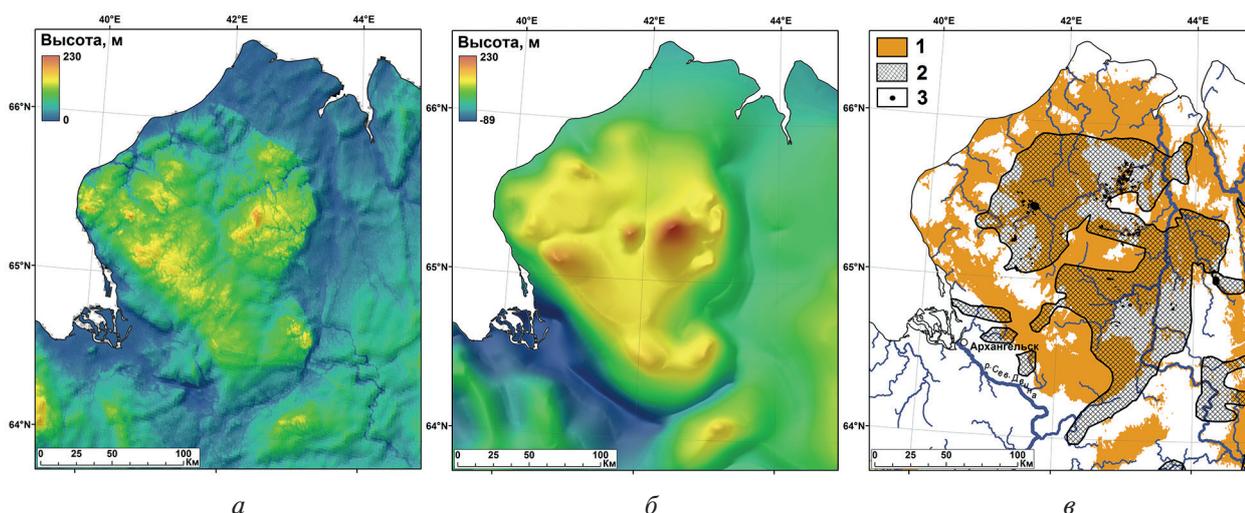
$$\begin{aligned} \text{Slope 1} \cap \text{TRI 1} \cap \text{TWI 3} \cap (\text{СЗ} \cup \text{СВ}), \\ \text{Slope 2} \cap \text{TRI 2} \cap \text{TWI 2} \cap (\text{ЮЗ} \cup \text{ЮВ}), \\ \text{Slope 3} \cap \text{TRI 3} \cap \text{TWI 1} \cap (\text{СЗ} \cup \text{СВ}), \end{aligned}$$

где 1 — минимальные, 2 — средние, 3 — максимальные значения кластеров параметров;  $\cap$  — пересечение полигонов;  $\cup$  — объединение полигонов.

В результате сформирована общая картосхема, на которой выявлены участки с оптимальными условиями для проведения искусственного лесовосстановления по лиственнице.

## Результаты работ и обсуждения

Считается, что наиболее продуктивные лиственничники приурочены к территориям с неглубоким залеганием или выходом на дневную поверхность дочетвертичных отложений, в первую очередь известняков (Кашин, Козобродов, 1994; Неверов, Минеев, 2024а). Для иллюстрации этого утверждения нами было проведено сопоставление растра выхода на поверхность дочетвертичных отложений, построенного как разность между ЦМР осадочного чехла (*рис. 2а*) и ЦМР дневной поверхности (см. *рис. 2б*), с распространением лесов с участием лиственницы (см. *рис. 2в*).



*Рис. 2.* Цифровые модели поверхности современного рельефа (*а*), рельефа коренных пород (*б*) и приуроченность лесов с участием лиственницы к выходам на поверхность дочетвертичных отложений (*в*). 1 — выходы коренных пород, 2 — леса с участием лиственницы, 3 — отдельные лиственничные древостои

Из рис. 2 видно, что большая часть лиственничных лесов располагается на коренных обнажениях либо на породах с маломощным четвертичным покровом. В работе (Неверов, Минеев, 2024а) установлено, что 80 % лиственничных древостоев приурочены к территориям с неглубоким залеганием красноцветных песков пермского возраста (до 3 м), перекрытым грубообломочными (глыбы, щебень, дресва, пески) четвертичными отложениями.

На рис. 3 отчётливо проявляется прямая взаимосвязь между распространением лиственничных лесов и карстопроявлением на территории БКП. Они фактически оконтуривают участки с различной степенью закарстованности. В работе (Neverov et al., 2017) отмечается, что лиственница по карстовым «коридорам» проникает глубоко на север и северо-запад Архангельской области, располагаясь на более сухих и дренированных карстовых почвах.

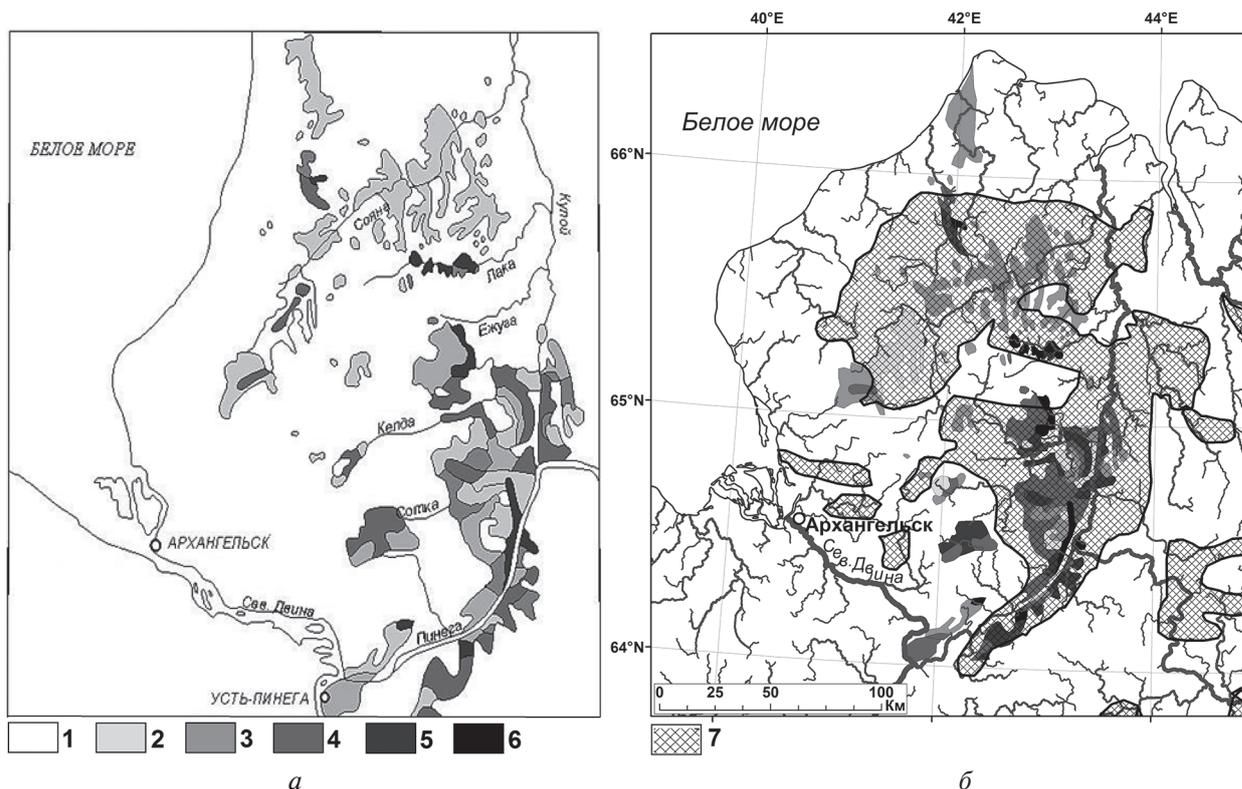


Рис. 3. Картограмма уровня закарстованности территории БКП (а) и её авторская обработка с нанесением контуров распространения лиственничных лесов (б). Закарстованность: 1 — не выражена, 2 — слабая, 3 — средняя, 4 — значительная, 5 — высокая, 6 — предельная (по работе (Торсуев, 1985)); 7 — леса с участием лиственницы (по публикации (Кашин, Козобродов, 1994))

Выбор лиственницей более сухих почв и участков подтверждается также и низкой плотностью бессточных впадин на ЦМР и болот. Выделение бессточных впадин на ЦМР и расчёт их плотности проводились ранее для определения закарстованных участков, методика описана в работе (Полякова и др., 2021). Бессточные впадины — это естественные понижения в рельефе (за исключением ложных значений в самой ЦМР), не имеющие стока вниз по склону. Зачастую это заболоченные, сильно увлажнённые участки, склонные к сезонным подтоплениям (рис. 4, см. с. 158). Лиственница «избегает» таких мест, располагаясь на более возвышенных и менее увлажнённых участках.

Далее проводился расчёт основных геоморфометрических параметров рельефа, а также их кластерных значений (с разделением на три класса значений: 1 — минимальные, 2 — средние, 3 — максимальные), взаимосвязанных с пространственным размещением лиственничников. Графически параметры и их кластерные значения отображены на рис. 5 (см. с. 159). Площадное покрытие каждым классом параметров, а также румбами экспозиции склонов внутри контуров распространения лесов с участием лиственницы приведено в таблице.

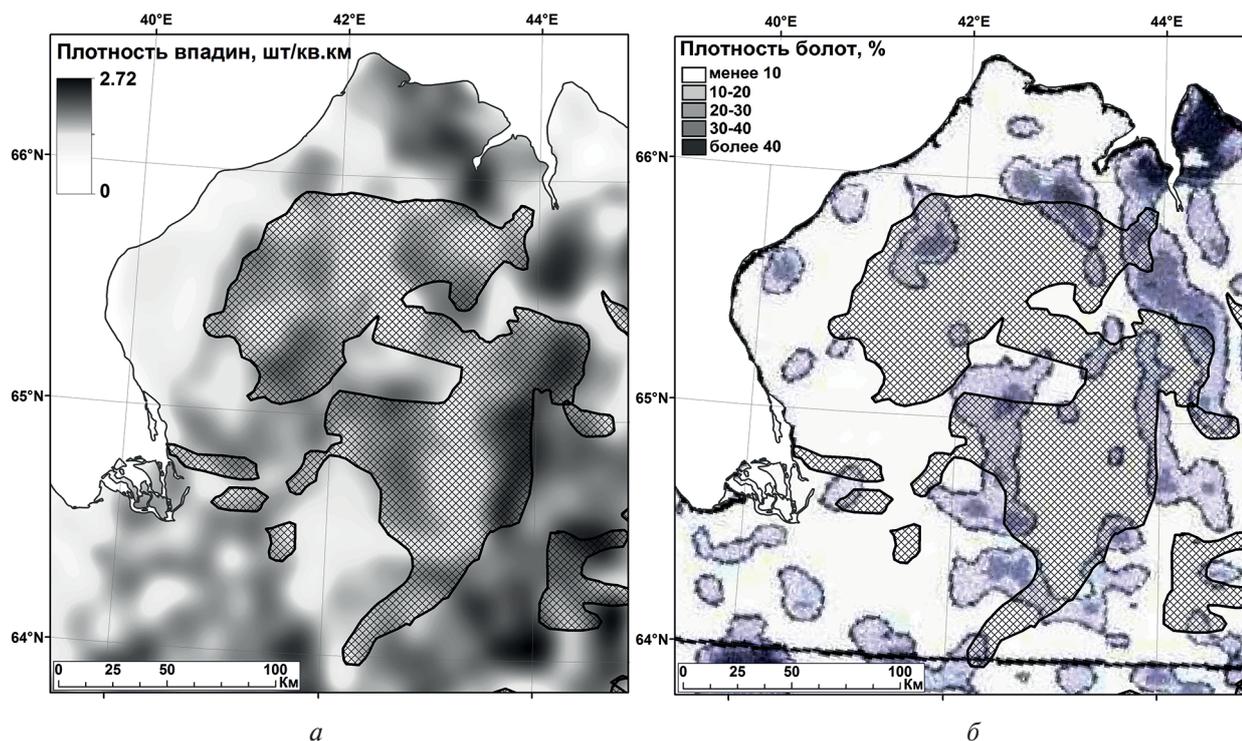


Рис. 4. Сопоставление распространения лесов с участием лиственницы с плотностью бессточных впадин на ЦМР (а) (по работе (Полякова и др., 2021)) и плотностью болот (б) (по публикации (Губайдуллин, 2002))

Доля площадного покрытия каждым классом геоморфометрических параметров территории лесов с участием лиственницы, %

Slope, класс		TRI, класс		TWI, класс		Aspect, румб	
1	46,79	1	42,79	1	42,22	СВ	28,59
2	15,37	2	15,71	2	15,56	ЮВ	24,15
3	37,84	3	41,49	3	42,22	ЮЗ	20,21
						СЗ	27,05

Как указывалось выше, территория БКП представляет собой плоскоравнинную слабо-расчленённую возвышенность. Это проявляется в значениях таких геоморфометрических параметров, как угол наклона и индекс расчленённости. Из *таблицы* видно преобладание класса минимальных значений. В то же время на плато выделяется ряд ярко выраженных эрозионных структур, таких как Беломорско-Кулойский уступ и каньонообразные, врезанные долины рек (река Сояна, левобережные притоки реки Кулой). Эти структуры отображаются в максимальных значениях угла наклона и индекса расчленённости.

Леса с включением лиственницы пространственно занимают и приподнятые участки на БКП, и Мезенскую низину, располагающуюся на востоке от Беломорско-Кулойского уступа. Однако отдельные лиственничные насаждения произрастают на крутых карбонатных и сульфатных склонах рек, что подтверждается максимальными значениями углов наклона и индекса расчленённости рельефа.

Индекс влажности отражает потенциальную возможность ячейки раstra ЦМР к накоплению воды, т. е. максимальные его значения соответствуют речным и прочим водным объектам, наиболее увлажнённым и пониженным участкам на поверхности, а минимальные — наоборот, показывают сухие возвышенные участки.

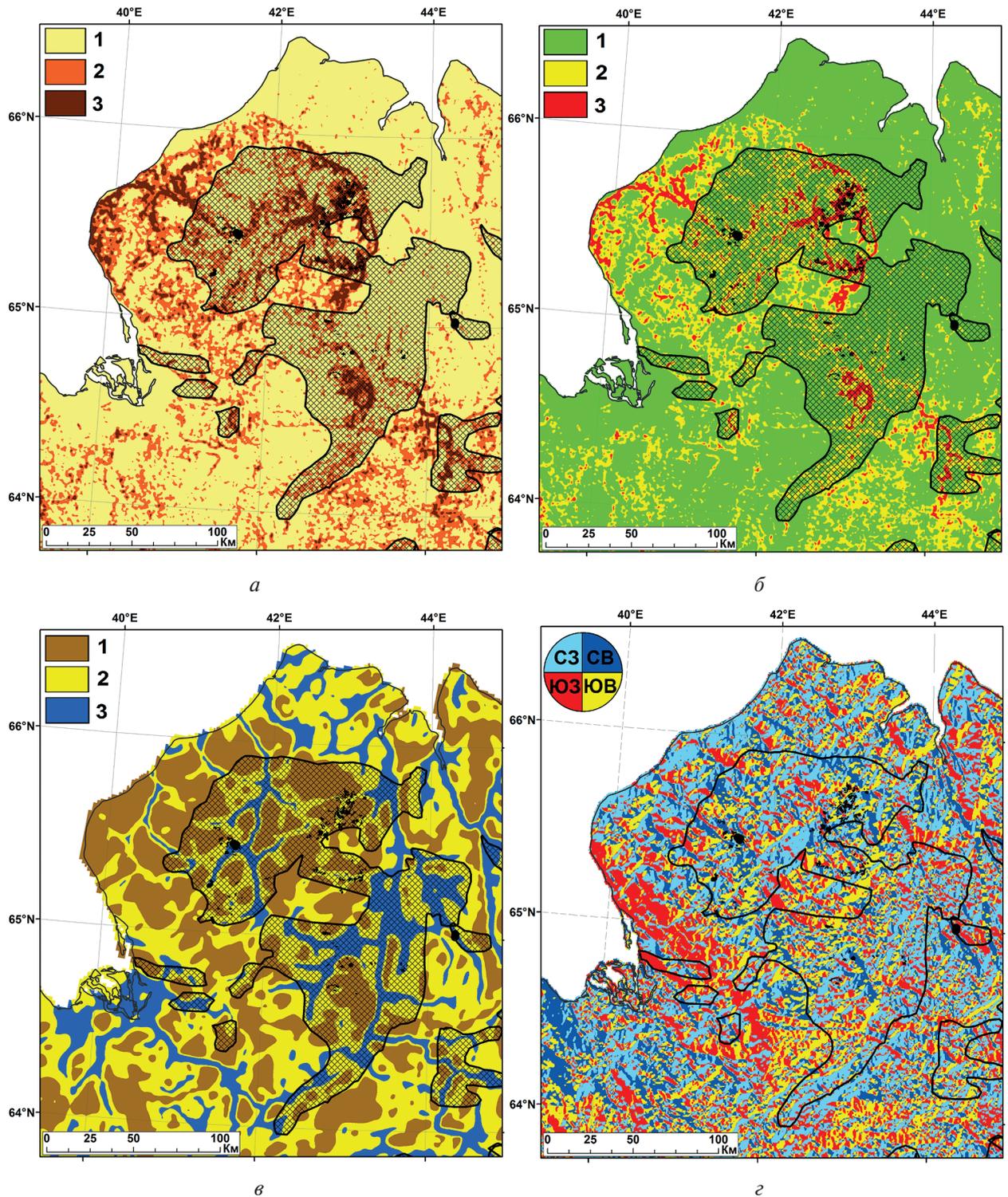


Рис. 5. Взаимосвязь кластерных значений геоморфометрических параметров рельефа с распространением лесов с участием лиственницы: а — угол наклона; б — индекс расчленённости; в — индекс влажности (кластеры значений: 1 — минимальные, 2 — средние, 3 — максимальные); г — экспозиция склонов

При сочетании этого параметра с экспозицией склона выявляется специфическая экологическая закономерность. С одной стороны, склоны южных экспозиций (ЮВ, ЮЗ) в условиях севера представляют собой достаточно благоприятные условия для местообитания. Они получают больше солнечной радиации, сильнее прогреваются, на них раньше сходит снег

весной. С другой стороны, на южных склонах именно поэтому возникает дефицит влаги, почвы пересыхают быстрее, что становится критичным для молодых всходов. Кроме того, на южных склонах лиственница не выдерживает конкуренции с сосной, которая также светолюбива, но при этом более засухоустойчива.

Склоны северных экспозиций (СВ, СЗ) получают гораздо меньше солнечного тепла. Снег лежит на них дольше, испарение с поверхности меньше, почвы остаются более влажнонасыщенными. Эти склоны прохладные и влажные, и по логике должны быть менее благоприятными для светолюбивой лиственницы. Однако лиственница — листопадное дерево, она распускает свою хвою весной, когда сосна и ель уже вегетируют. Для северных территорий обычным бывают поздние заморозки, которые могут случаться даже в июне. И поскольку северные склоны прогреваются позднее, это задерживает вегетацию лиственницы, которая очень чувствительна к заморозкам, что даёт ей определённое преимущество и возможность существовать на таких склонах совместно с елью. Отдельные лиственничные насаждения всё же приурочены к возвышенным расчленённым территориям, к склонам карстовых логов и рек СВ и СЗ экспозиций, где возникают участки с локальным переувлажнением.

Полученные по вышеизложенной схеме данные позволяют сформировать сводную картосхему, отображающую территории с оптимальными условиями для произрастания лиственницы с целью проведения искусственного лесовосстановления (рис. 6).

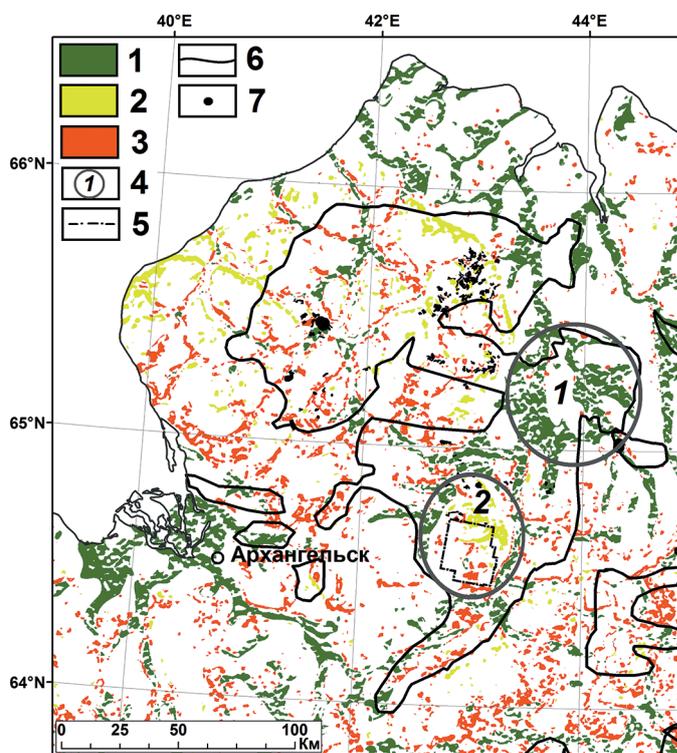


Рис. 6. Территории с благоприятными условиями для произрастания лиственничных лесов. Условия с различной степенью оптимальности: 1 — наиболее оптимальные, 2 — оптимальные, 3 — наименее оптимальные; 4 — рекомендованные участки для искусственного лесовосстановления лиственницы, 5 — границы Пинежского заповедника, 6 — леса с участием лиственницы, 7 — отдельные лиственничные древостой

На рис. 6 показаны два участка, по набору факторов выделенные авторами как наиболее благоприятные для проведения искусственных посадок лиственницы. Участок 1 находится за пределами БКП, в верховьях реки Кулой, в Кулойско-Мезенской низменности. Этой территории соответствует наибольшая увлажнённость и наименьшая расчленённость, а Беломорско-Кулойский уступ защищает её от холодного воздействия преобладающих в конце

весны – начале лета северных и северо-западных ветров. Участок 2 располагается в юго-восточной оконечности БКП, в долинах рек Сотка и Пинега. Это территория максимального развития открытого карста, возвышенная, сильно расчленённая, с минимальным увлажнением. Здесь же находится Пинежский заповедник.

Таким образом, геоморфометрический анализ ЦМР может выступать объективным количественным инструментом при изучении территориального распределения смешанных лесов с участием лиственницы и отдельных лиственничных насаждений, а также рекомендовать определённые площадки для её искусственного разведения с целью восстановления породного состава.

## Выводы

В полосе темнохвойной тайги и на западном пределе распространения лиственницы сокращение площадей лиственничного леса идёт главным образом в результате постепенного, но неуклонного поглощения их темнохвойными лесами, несколько замедленного только на сильно карбонатных породах по крутым склонам речных долин, в силу их определённой физической сухости (Дылис, 1981). Хвойные конкуренты лиственницы вытесняют её из наиболее благоприятных условий произрастания в наименее благоприятные (на песчаные или сухие, на карбонатные или гипсоносные почвы) (Кашин, Козобродов, 1994).

При проведении геоморфометрического анализа цифровой модели рельефа установлено, что леса с включением лиственницы в большинстве своём пространственно приурочены к выходам коренных, зачастую карстующихся пород на дневную поверхность, имеют обратную взаимосвязь с плотностью бессточных впадин и болот, т. е. располагаются на возвышенных и более сухих участках. Для таких территорий характерны минимальные значения рассмотренных геоморфометрических параметров. Однако отдельные лиственничные насаждения произрастают на крутых карбонатных и сульфатных склонах карстовых логов и рек, имеющих северо-западную и северо-восточную ориентации, максимальные значения углов наклона и индекса расчленённости рельефа.

Исследование проведено в ходе выполнения государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН № гос. регистрации № 125022502869-4.

## Литература

1. Алексеев А. С., Черниковский Д. М. Анализ связей структуры и продуктивности лесов с геоморфометрическими характеристиками рельефа на примере ландшафтов Ленинградской области // Лесоведение. 2020. № 2. С. 99–114. DOI: 10.31857/S0024114820020035.
2. Арапов Б. И. О находке лиственницы в ископаемом состоянии в торфянике Псковской губернии // Болотоведение. 1914. № 2. С. 196–204.
3. Асеев А. А. Древние материковые оледенения Европы. М.: Наука, 1974. 318 с.
4. Браславская Т. Ю., Горячкин С. В., Кутенков С. А., Мамонтов В. Н., Попов С. Ю., Пучнина Л. В., Сидорова О. В., Торхов С. В., Федченко И. А., Чуракова Е. Ю. Флора и растительность Беломорско-Кулойского плато. Архангельск: САФУ, 2017. 302 с.
5. Герасимов Д. А. К истории развития лесов европейской части СССР и Урала за время существования торфяных болот // Тр. Всесоюзного съезда ботаников. М., 1926.
6. Губайдуллин М. Г. Геоэкологические условия освоения минерально-сырьевых ресурсов Европейского Севера России. Архангельск: Поморский гос. ун-т, 2002. 310 с.
7. Дубенюк Н. Н., Лебедев А. В., Чистяков С. А. Динамика основных показателей земель лесного фонда Костромской обл. и биосферного резервата «Кологривский лес» // Лесохозяйственная информация. 2023. № 3. С. 26–36. DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2023.3.02.
8. Дылис Н. В. Лиственница. М.: Лесная промышленность, 1981. 96 с.
9. Кашин В. И., Козобродов А. С. Лиственничные леса Европейского Севера России. Архангельск: Изд-во АФРГО РАН, 1994. 215 с.

10. Крашенинников И. М. Основные пути развития растительности Южного Урала в связи с палеогеографией Северной Евразии в плейстоцене и голоцене // Советская ботаника. 1939. Вып. 6–7. С. 67–99.
11. Кузнецова Н. И. О нахождении лиственницы в ископаемом состоянии в торфянике на берегу Псковского озера // Русское ботаническое об-во. 1927. Т. 12. Вып. 1–2.
12. Кутинов Ю. Г., Минеев А. Л., Полякова Е. В., Чистова З. Б. Выбор базовой цифровой модели рельефа (ЦМР) равнинных территорий Севера Евразии и её подготовка для геологического районирования (на примере Архангельской области). Пенза: Научно-изд. центр «Социосфера», 2019. 177 с.
13. Малков В. Н., Гуркало Е. И., Монахова Л. Б., Шаверина Е. В., Гуркало В. А., Франц Н. А. Карст и пещеры Пинежья. М.: Ассоциация «Экост», 2001. 208 с.
14. Матренинский В. В. Леса Кологривского уезда в естественно-историческом отношении // Тр. Костромского науч. об-ва по изучению местного края. 1917. Вып. 6. С. 165–332.
15. Неверов Н. А., Минеев А. Л. (2024а) Влияние мезорельефа и подстилающих горных пород на распространение и продуктивность притундровых лиственничников (Архангельская область) // Вестн. Бурятской гос. с.-х. акад. им. В. Р. Филиппова. 2024. № 4(77). С. 123–130. DOI: 10.34655/bgsha.2024.77.4.016.
16. Неверов Н. А., Минеев А. Л. (2024б) Влияние мезорельефа на формирование макроструктуры и теплопроводной способности древесины сосны в подзоне средней тайги (Архангельская область) // Вестн. Бурятской гос. с.-х. акад. им. В. Р. Филиппова. 2024. № 3(76). С. 110–117. DOI: 10.34655/bgsha.2024.76.3.014.
17. Неверов Н. А., Бабич Н. А., Минеев А. Л. Геоэкологические условия произрастания корабельных роц в северной тайге Архангельской области // Материалы научно-практич. конф. «Актуальные вопросы таежного и притундрового лесоводства на Европейском Севере России». М., 2023. С. 168–172.
18. Неверов Н. А., Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. и др. Значение мезорельефа в формировании структуры древесины сосны (*Pinus sylvestris* L.) в подзоне средней тайги // Лесной вестн. 2024. Т. 28. № 1. С. 121–129. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-121-129.
19. Полякова Е. В., Кутинов Ю. Г., Минеев А. Л. и др. Применение глобальной цифровой модели рельефа ASTER GDEM v.2 для выделения районов возможной активизации карстовых процессов на территории Архангельской области // Ученые записки Казанского ун-та. Сер. Естественные науки. 2021. Т. 163. Кн. 2. С. 302–319. DOI: 10.26907/2542-064X.2021.2.302-319.
20. Полякова Е. В., Кутинов Ю. Г., Минеев А. Л., Чистова З. Б. Геоморфометрические признаки карстового процесса на равнинных лесопокрытых территориях (на примере Двинско-Мезенской карстовой провинции) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 4. С. 173–183. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-4-173-183.
21. 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) // Вестн. Ижевской гос. с.-х. акад. 2017. № 1(50). С. 42–52.
22. Редько Г. И., Бабич Н. А. Корабельный лес во славу флота российского. Архангельск: Северо-Западное книжное изд-во, 1993. 151 с.
23. Сукачев В. Н. Дендрология с основами лесной геоботаники. Л.: Гослестехиздат, 1934. 314 с.
24. Торсуев Н. П. Карст: пути географического изучения. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1985. 156 с.
25. Торхов С. В., Трубин Д. В. Лиственница в лесах Архангельской области: состояние, динамика, использование // Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство: материалы рабочего совещания. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. С. 5–22.
26. Третьяков С. В. Рост лиственницы в смешанных древостоях средней подзоны тайги Европейского Севера // Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство: материалы рабочего совещания. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. С. 107–110.
27. Черниковский Д. М. Оценка связей морфометрических характеристик рельефа с количественными и качественными характеристиками лесов на основе цифровых моделей рельефа ASTER и SRTM // Сибирский лесной журн. 2017. № 3. С. 28–39. DOI: 10.15372/SJFS20170303.
28. Neverov N. A., Belyaev V. V., Chistova Z. B. et al. Effects of geo-ecological conditions on larch wood variations in the North European part of Russia (Arkhangelsk region) // J. Forest Science. 2017. V. 63(4). P. 192–197. DOI: 10.17221/102/2015-JFS.
29. Neverov N. A., Belyaev V. V., Chistova Z. B. et al. Influence of morphometric parameters of relief on macro- and microstructure of wood *Pinus silvestris* L. in the North of the Russian plain // J. Forest Science. 2019. V. 65(2). P. 79–85. DOI: 10.17221/123/2018-JFS.

## Digital elevation modeling data in studying larch distribution in northern taiga landscapes of the Russian Plain

E. V. Polyakova, N. A. Neverov, A. L. Mineev

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research UrB RAS  
Arkhangelsk 163020, Russia  
E-mail: lenpo26@yandex.ru

This article analyzes the relationship between quantitative relief parameters and the distribution of Siberian larch (*Larix sibirica*) in the northern Russian Plain. Relief, as the most stable landscape component, can determine patterns in the distribution, growth, and productivity of forest-forming tree species. In the Arkhangelsk Region, this coniferous species is not widely distributed, classified as relict and endangered, and accounts for approximately 0.25 % of the forested area. Almost all of this is concentrated on the White Sea-Kuloy Plateau, where it occurs in both dark and light coniferous forests, as well as mixed and deciduous forests. It has been established that geomorphometric analysis of a digital elevation model can serve as an objective quantitative tool for studying the spatial distribution of mixed forests, including larch and individual larch stands. Geomorphometric analysis of the digital elevation model revealed that larch forests are mostly spatially confined to outcrops of bedrock, often karst, reaching the surface. An inverse relationship is observed with the density of sinks and the density of distribution of swamps, meaning they are located in elevated and drier areas. Such areas are characterized by minimal slope angles, terrain ruggedness index, and topographic wetness index. However, individual larch stands are confined to elevated, dissected areas, on the slopes of karst ravines and rivers with northeastern and northwestern exposures where areas of localized moisture develop.

**Keywords:** Russian Plane, digital elevation model, geomorphometric parameters, larch, White Sea-Kuloy Plateau, karst

Accepted: 17.10.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-1-153-165

### References

1. Alekseev A. S., Chernikhovskii D. M., The analysis of relations between the forests structure and productivity and the morphometric characteristics of landscape on the example of Leningrad Oblast landscapes, *Russian J. Forest Science*, 2020, V. 2, pp. 99–114 (in Russian), DOI: 10.31857/S0024114820020035.
2. Arapov B. I., On the discovery of larch in a fossil state in a peat bog in the Pskov province, *Bolotovedenie*, 1914, No. 2, pp. 196–204 (in Russian).
3. Aseev A. A., *Drevnie materikovye oledneniya Evropy*, Moscow: Nauka, 1974, 318 p. (in Russian).
4. Braslavskaya T. Yu., Goryachkin S. V., Kutenkov S. A., Mamontov V. N., Popov S. Yu., Puchnina L. V., Sidorova O. V., Torkhov S. V., Fedchenko I. A., Churakova E. Yu., *Flora i rastitel'nost' Belomorsko-Kuloiskogo plato* (Flora and vegetation of the White Sea-Kuloy Plateau), Arkhangel'sk: SAFU, 2017, 302 p. (in Russian).
5. Gerasimov D. A., On the history of forest development in the European part of the USSR and the Urals during the existence of peat bogs, In: *Trudy Vsesoyuznogo s'ezda botanikov* (Proc. All-Soviet Union Congress of Botanists), Moscow, 1926 (in Russian).
6. Gubaidullin M. G., *Geoekologicheskie usloviya osvoeniya mineral'no-syr'evykh resursov Evropeiskogo Severa Rossii* (Geocological conditions for the development of mineral resources in the European North of Russia), Arkhangel'sk: Pomorskii gosudarstvennyi universitet, 2002, 310 p. (in Russian).
7. Dubenok N. N., Lebedev A. V., Chistyakov S. A., Dynamics of the main indicators of the forest lands of the Kostroma Region and the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve, *Forestry information*, 2023, No. 3, pp. 26–36 (in Russian), DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.02.
8. Dylis N. V., *Listvennitsa* (Larch), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1981, 96 p. (in Russian).
9. Kashin V. I., Kozobrodov A. S., *Listvennichnye lesa Evropeiskogo Severa Rossii* (Larch forests of the European North of Russia), Arkhangel'sk: Izd. AFRGO RAN, 1994, 215 p. (in Russian).

10. Krasheninnikov I. M., The main development paths of the vegetation of the Southern Urals in connection with the paleogeography of Northern Eurasia in the Pleistocene and Holocene, *Sovetskaya botanika*, 1939, Iss. 6–7, pp. 67–99 (in Russian).
11. Kuznetsova N. I., On the presence of larch in a fossil state in a peat bog on the shore of Lake Pskov, *Russkoe botanicheskoe obshchestvo*, 1927, V. 12, No. 1–2 (in Russian).
12. Kutinov Yu. G., Mineev A. L., Polyakova E. V., Chistova Z. B., *Vybor bazovoi tsifrovoy modeli rel'efa (TsMR) ravninnykh territorii Severa Evrazii i ee podgotovka dlya geologicheskogo raionirovaniya (na primere Arkhangel'skoi oblasti)* (The choice of the basic digital elevation model (DEM) of the plain territories of the North of Eurasia and its preparation for geological zoning (on the example of the Arkhangelsk region)), Penza: Nauchno-izdatel'skii tsentr "Sotsiosfera", 2019, 177 p. (in Russian).
13. Malkov V. N., Gurkalo E. I., Monakhova L. B., Shavrina E. V., Gurkalo V. A., Frants N. A., *Karst i peshchery Pinezh'ya* (Karst and caves of Pinezhya), Moscow: Assotsiatsiya "Ekost", 2001, 208 p. (in Russian).
14. Matreninskii V. V., Forests of the Kologrivsky district in natural-historical terms, *Trudy Kostromskogo nauchnogo obshchestva po izucheniyu mestnogo kraya*, 1917, Iss. 6, pp. 165–332 (in Russian).
15. Neverov N. A., Mineev A. L. (2024a), The influence of mesorelief and underlying rocks on the distribution and productivity of sub-tundra larch forests (Arkhangelsk region), *Buryat Agrarian J.*, 2024, No. 4(77), pp. 123–130 (in Russian), DOI: 10.34655/bgsha.2024.77.4.016.
16. Neverov N. A., Mineev A. L. (2024b), Influence of mesorelief on the macrostructure and heating value of pine wood in the middle taiga subzone (Arkhangelsk Region), *Buryat Agrarian J.*, 2024, No. 3(76), pp. 110–117 (in Russian), DOI: 10.34655/bgsha.2024.76.3.014.
17. Neverov N. A., Babich N. A., Mineev A. L., Geocological conditions of growth of ship groves in the northern taiga of the Arkhangelsk region, *Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii "Aktual'nye voprosy taezhnogo i pritundrovogo lesovodstva na Evropeiskom Severe Rossii"* (Proc. Scientific and Practical Conf. "Current Issues in Taiga and Tundra Forestry in the European North of Russia"), Moscow, 2023, pp. 168–172 (in Russian).
18. Neverov N. A., Kutinov Yu. G., Chistova Z. B. et al., Mesorelief influence on pine wood structure formation in middle taiga, *Forestry Bull.*, 2024, V. 28, No. 1, pp. 121–129 (in Russian), DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-121-129.
19. Polyakova E. V., Kutinov Yu. G., Mineev A. L. et al., Using the ASTER GDEM v.2 global digital elevation model to identify areas of possible activation of karst processes in the Arkhangelsk Region (Russia), *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. Estestvennye nauki*, 2021, V. 163, No. 2, pp. 302–319 (in Russian), DOI: 10.26907/2542-064X.2021.2.302-319.
20. Polyakova E. V., Kutinov Yu. G., Mineev A. L., Chistova Z. B., Geomorphometric features of karst process in plain forested territories (by the example of the Dvinsk-Mezen karst province), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2025, V. 22, No. 4, pp. 173–183 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-4-173-183.
21. Rakhmatullina I. R., Rakhmatullin 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 Bull. of Izhevsk State Agricultural Academy*, 2017, No. 1(50), pp. 42–52 (in Russian).
22. Red'ko G. I., Babich N. A., *Korabel'nyi les vo slavu flota rossiiskogo* (Ship timber for the glory of the Russian fleet), Arkhangel'sk: Severo-Zapadnoe knizhnoe izd., 1993, 151 p. (in Russian).
23. Sukachev V. N., *Dendrologiya s osnovami lesnoi geobotaniki* (Dendrology with the basics of forest geobotany), Leningrad: Goslestekhzdat, 1934, 314 p. (in Russian).
24. Torsuev N. P., *Karst: puti geograficheskogo izucheniya* (Karst: Paths of geographical study), Kazan': Izd. Kazanskogo universiteta, 1985, 156 p. (in Russian).
25. Torkhov S. V., Trubin D. V., Larch in the forests of the Arkhangelsk region: state, dynamics, using, *Materialy rabochego soveshchaniya "Listvennichnye lesa Arkhangel'skoi oblasti, ikh ispol'zovanie i vosproizvodstvo"* (Materials of the working meeting "Larch Forests of the Arkhangelsk Region, Their Use and Reproduction"), Arkhangel'sk: Izd. AGTU, 2002, pp. 5–22 (in Russian).
26. Tret'yakov S. V., Growth of larch in mixed stands of the middle taiga subzone of the European North, *Materialy rabochego soveshchaniya "Listvennichnye lesa Arkhangel'skoi oblasti, ikh ispol'zovanie i vosproizvodstvo"* (Materials of the working meeting "Larch Forests of the Arkhangelsk Region, Their Use and Reproduction"), Arkhangel'sk: Izd. AGTU, 2002, pp. 107–110 (in Russian).
27. Chernikhovskii 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, *Siberian J. Forest Science*, 2017, No. 3, pp. 28–39 (in Russian), DOI: 10.15372/SJFS20170303.

28. Neverov N. A., Belyaev V. V., Chistova Z. B. et al., Effects of geo-ecological conditions on larch wood variations in the North European part of Russia (Arkhangelsk region), *J. Forest Science*, 2017, V. 63(4), pp. 192–197, DOI: 10.17221/102/2015-JFS.
29. Neverov N. A., Belyaev V. V., Chistova Z. B. et al., Influence of morphometric parameters of relief on macro- and microstructure of wood *Pinus sylvestris* L. in the North of the Russian plain, *J. Forest Science*, 2019, V. 65(2), pp. 79–85, DOI: 10.17221/123/2018-JFS.