

DOI: 10.31509/2658-607x-202692-193

УДК 630.18(470.21)

ФИТОМАССА И ПУЛЫ УГЛЕРОДА ЕЛОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ РОССИИ И ЕВРОПЕЙСКИХ СТРАН

© 2026

Н. С. Рябов

*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН
Россия, 184209, Апатиты, Академгородок, 14а*

E-mail: n.ryabov@ksc.ru

Поступила в редакцию: 23.05.2026

После рецензирования: 18.06.2026

Принята к печати: 22.06.2026

Глобальное изменение климата, напрямую связанное с непрерывно растущими концентрациями парниковых газов в атмосфере, обуславливает необходимость уточнения и актуализации климаторегулирующей роли лесных экосистем. Фитомасса (древостой, подрост и подлесок, живой напочвенный покров) играет важную роль в глобальном углеродном цикле за счет способности к поглощению атмосферного углерода, а также его долговременного сохранения. В статье приводится обзор имеющихся сведений о фитомассе и запасах углерода фитомассы в еловых лесах России и ряда Европейских стран. Рассматриваются важные особенности и ключевые факторы, влияющие на пространственное распределение и формирование пулов углерода фитомассы на примере Мурманской области. Обосновывается необходимость комплексных исследований продуктивности и распределения углерода в основных пулах фитомассы еловых фитоценозов.

Ключевые слова: запасы углерода, фитомасса, лесные фитоценозы, еловые леса, северная тайга, Мурманская область, Арктика

Беспрецедентные темпы изменения климата связывают с растущими концентрациями парниковых газов в атмосфере Земли, в частности с антропогенными эмиссиями CO₂ (IPCC, 2022). Лесные экосистемы вносят значительный вклад

в поглощение углерода (Одум, 1986; Алексеев, Бердси, 1994; Уткин, 1995; Пулы и потоки..., 2007; Лукина и др., 2018; Pan et al., 2024). Киотский протокол (1997) и Парижское соглашение (Adoption ..., 2015) – дополнения к Рамочной кон-

венции ООН об изменении климата (1992), накладывают на страны, которые их ратифицировали, обязанности по уточнению роли лесов в углеродном цикле. Международные обязательства являются документальным подтверждением и признанием объективных глобальных процессов, с которыми столкнулось человечество. С конца XX века группы экспертов в рамках деятельности МГЭИК (IPCC) и Глобального углеродного проекта (GCP) публикуют отчеты о глобальном бюджете углерода (IPCC, 2014, 2022), в том числе ежегодные (Le Quéré et al., 2018, 2021; Friedlingstein et al., 2023, 2025). Треть углеродного стока наземных экосистем приходится на леса бореальной зоны (Le Quéré et al., 2018; Pappas et al., 2020). Около 2/3 всех мировых бореальных лесов функционируют на территории России (Страхов и др., 2001), что свидетельствует о глобальном значении лесов страны в контексте депонирования атмосферного углерода. И хотя, вследствие сокращения площади бореальных лесов (Pan et al., 2024), снижается поглощение ими атмосферного углерода ($-36 \pm 6\%$), по современным оценкам (Friedlingstein et al., 2025), Российская Федерация является крупнейшей страной, депонирующей парниковые газы.

По данным на 2014 год леса страны поглощали 546 ± 120 ТгС в год (Швиденко, Щепаченко, 2014). По недавним оценкам лесные экосистемы поглощают около 587 ТгС в год, а в целом наземные экосистемы страны поглощают (в зависимости от подхода к оценке) от 570 ± 140 до 730 ± 270 ТгС в год (Shvidenko et al., 2025).

Цель данной статьи – дать аналитический обзор имеющихся сведений о фитомассе и запасах углерода фитомассы в еловых лесах России и ряда Европейских стран.

Согласно официальной отчетности России (Восьмое национальное сообщение ..., 2022), управляемые лесные земли в 2020 году обеспечивали нетто-поглощение парниковых газов в объеме 613 Тг CO₂-экв. в год, что существенно ниже, чем в последнем Национальном докладе о кадастре антропогенных выбросов парниковых газов из источников и их абсорбции поглотителями за 1990-2023 гг., в котором использованы оценки государственной инвентаризации лесов и важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (Национальный доклад о кадастре ..., 2025). Так, согласно Национальному докладу (2025),

по современным оценкам нетто-поглощение лесными землями РФ на 2023 год составляет 1087.4 Тг CO₂-экв. в год, что компенсирует около 52% антропогенных выбросов, составивших 2083.9 Тг CO₂-экв. в год.

В России проводились исследования, посвященные компонентам углеродного цикла наземных экосистем на национальном уровне (Алексеев, Бердси, 1994; Пулы и потоки ..., 2007; Исаев и др., 1993; Исаев, Коровин, 1997; Shvidenko et al., 2025; Столбовой и др., 2004; Schepaschenko et al., 2021; Filipchuk et al., 2023; и др.), публиковались монографии посвященные продуктивности лесов Евразии (Усольцев, 2016; Щепашенко и др., 2008), также Усольцевым В. А. (2001, 2010) была проведена масштабная работа по формированию базы данных запасов и продуктивности лесов Евразии.

Ключевыми резервуарами углерода лесных экосистем являются почва и растительная биомасса. Большая часть углерода в лесах мира содержится в фитомассе и почвах (43 и 45% соответственно), однако, в бореальных лесах самый крупный пул – почва, а на живую биомассу приходится около 20% (Pan et al., 2024). Растения, включая древостой, подрост и подлесок, живой напочвенный

покров, играют важную роль в глобальном углеродном цикле за счет поглощения атмосферного углекислого газа. Эта способность оказывает смягчающий эффект на климатические изменения, обуславливая необходимость исследований лесной растительности в данном контексте (Bonan, 2008; Thurner et al., 2014; Nunes et al., 2020). Древесными растениями – доминирующим компонентом лесного фитоценоза – углекислый газ депонируется в наиболее значительных объемах: глобальные запасы углерода в биомассе деревьев оцениваются в 367 – 394 ГтС (Mo et al., 2023), при этом деревья способны сохранять углерод многие десятки и сотни лет (Пулы и потоки ..., 2007). Запасы углерода фитомассы лесов России составляют 46.9 ± 0.4 ГтС (Filipchuk et al., 2023), а секвестрация углерода только живой фитомассой лесов России оценивается в 354 ТгС в год (Schepaschenko et al., 2021). С 2000 года за 20-ти летний период рост запасов фитомассы лесных экосистем Северной Евразии составил 1.2 – 6% (Тишков и др., 2021).

Важность и интерес к исследованиям компонентов углеродного цикла в регионах Крайнего Севера продиктован сложившимся консенсусом о значительных темпах потепления в северных обла-

стях, что отмечается во всех регионах Арктики (AMAP, 2021; Rantanen et al., 2022; NOAA Arctic Report ..., 2025; Screen et al., 2026) и в России в частности (Третий оценочный доклад ..., 2022). Изменения климата приводят к смещению прежних границ распространения древесной растительности. Так, в бореальных лесах мира происходят динамичные процессы смещения границы лесного биома, отмечается значительный прирост площади лесов (на 12% больше по сравнению с 1985 годом) в пределах широт от 64° до 68° (Feng et al., 2026). Граница произрастания деревьев (*Betula pubescens*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*) в горах Швеции за столетие в некоторых районах поднялась на 200 м (Kullman, Öberg, 2009). На Аляске популяции белой ели *Picea glauca* распространяются в арктической тундре со скоростью более 4 км в десятилетие (Dial et al., 2022). Известно также, что в России отмечается поднятие верхней границы леса в горных районах Арктики (Моисеев и др., 2019; Григорьев и др., 2019; Тишков и др., 2020).

Значительная площадь Российской Федерации входит в Арктическую зону – около 18% всей территории. Лесами занято около 33% территории АЗРФ, при этом около 3.4% от всей лесопокрытой

площади Арктической зоны РФ приходится на Мурманскую область (Рослесинфорг, 2023).

Помимо исследований, посвященных тундровым экосистемам (Чепурко, 1971; Ушакова и др., 2004; Tang et al., 2015; Shmakova et al., 2026), значительное внимание уделяется и лесам Заполярья (Никонов, 1984; Коренные еловые леса..., 2006; Бобкова и др., 2010; Осипов и др., 2022; Merilä et al., 2024; и др.), в том числе и Мурманской области. Так, имеются работы, посвященные эмиссиям диоксида углерода в природных и нарушенных экосистемах региона (Кадулин, Копчик, 2021; Корнейкова и др., 2023; Kurganova et al., 2024), содержанию и потокам углерода в атмосферных выпадениях, запасам углерода фитомассы, содержанию углерода в ассимилирующих органах растений и опаде, почвенному пулу углерода (Ушакова и др., 2004; Лукина и др., 2023; Сухарева и др., 2023; Живов, Сухарева, 2025; Ershov et al., 2024; Рябов, Исаева, 2026).

Несмотря на интерес исследователей к северным регионам, вопрос о запасах углерода в лесных экосистемах бореальных лесов Кольского Заполярья остается открытым, в связи с недостаточной изученностью. Это, в частности, касается

еловых биогеоценозов Мурманской области, площадь которых значительна – 1505.7 тыс. га, что составляет 30% лесопокрытой площади региона. Имеющиеся наиболее полные данные о запасах фитомассы типичных для региона ельников нуждаются в обновлении. Продуктивность еловых биогеоценозов Мурманской области изучалась в основном в XX веке (Чепурко, 1971, 1972; Манаков, Никонов, 1979а,б; 1981; Алексеев, Рак, 1985; Лукина, Никонов, 1991), а в XXI значительно реже (Ушакова и др., 2004). Исследования продуктивности еловых фитоценозов региона ограничены центральной и южной частями области, что, учитывая неоднородность рельефа региона и значительные площади еловых лесов в юго-западной, западной и северо-западной части, указывает на необходимость расширения географии исследований.

Отличительной особенностью ельников кустарничково-зеленомошных Мурманской области, является значительный (Манаков, Никонов, 1981) вклад растений напочвенного покрова в запасы фитомассы (до 23% от всех запасов), что в целом характерно для северотаежных фитоценозов (Базилевич, 1993). Это объясняется низкой продуктивностью древостоев в суровых природно-климатиче-

ских условиях региона, их разреженностью и большими пространствами между крон деревьев. Выраженная мозаичность покрытия лесной растительностью требует учета основных структурно-функциональных единиц биогеоценоза (Орлова, 2013). Так, оценивался вклад преобладающих микрогруппировок напочвенного покрова в запасы фитомассы елового фитоценоза на разной стадии техногенной дигрессии (Лукина, Никонов, 1996). Фитомасса напочвенного покрова в малонарушенном ельнике кустарничково-зеленомошном может варьировать от 9 в елово-воронично-брусничной микрогруппировке до 18 т га⁻¹ в кустарничково-зеленомошной. Такие результаты указывают на значительную внутрибиогеоценотическую вариабельность фитомассы напочвенного покрова. Однако работы, помимо вышеуказанного исследования, посвященные продуктивности напочвенного покрова в малонарушенных еловых лесах Мурманской области с учетом естественной мозаичности биогеоценозов немногочисленны (Лукина, Никонов, 1996; Никонов и др., 2002) и не учитывают вклад фитогенного поля березы – ключевой сопутствующей породы ельников региона.

Ель (виды рода *Picea*) – одна из клю-

чевых лесообразующих пород России, как по распространению, так и по хозяйственному назначению (Казимиров, 1983; Рысин, Савельева, 2002). Как мезотроф ель, как правило, не произрастает на очень бедных почвах, однако и не является требовательной к их богатству элементами питания. Известно, что при засолении почвы и при воздействии загрязнения атмосферного воздуха сернистыми соединениями ель деградирует (Лукина, Никонов, 1996; Рысин, Савельева, 2002; Черненко, Бочкарев, 2013). Поскольку ель исключительно теневыносливая порода, это дает преимущество в удержании занятой ею площади, впоследствии вытесняя из состава древостоев и подлеска более светлюбивые породы, при этом в еловом древостое создаются условия для возобновления только теневыносливых видов – пихты, липы и кедра (Рысин, Савельева, 2002). Виды рода *Picea* относятся к позднеуксессиным, при этом обладают пластичным фотосинтетическим аппаратом и характеризуются активным приростом при 70-100% освещенности и более ранним плодоношением (Казимиров, 1983; Ведерников, 2026). Теплолюбивость ели сопряжена с высокой устойчивостью к колебаниям температуры воздуха, которая связана с интенсивностью роста дерева.

Так, при продвижении с севера на юг, при повышении среднегодовых температур и сумм эффективных температур изменяется класс бонитета еловых насаждений от V к I (Казимиров, 1983).

Эдификаторная роль ели выражается в значительном влиянии на биогеохимические циклы, полог ели формирует более насыщенный химическими элементами, чем полог сосны, сток атмосферных выпадений (Ершов и др., 2020; Ershov et al., 2026). Ель оказывает более существенное влияние на аккумуляцию углерода в минеральных горизонтах почв, тогда как сосна – на запасы в органических горизонтах почв (Lukina et al., 2020). Древесный ярус в ельниках сглаживает амплитуду колебания температур, что обеспечивает защиту растений почвенного покрова во время нередких в северной тайге заморозков (Геникова и др., 2021).

География изучения продуктивности и запасов фитомассы ельников Европейской части России широка. Изучались леса Мурманской области (Чепурко, 1971, 1972; Манаков, Никонов, 1979а,б; 1981; Лукина, Никонов, 1991, Алексеев, Рак, 1985; Ушакова и др., 2004), Республики Карелия (Щербаков, Зайцева, 1971; Казимиров, Морозова, 1973), Республики Коми (Игнатенко и др., 1973; Забоева и

др., 1973; Арчегова и др., 1975; Бобкова, Надуткин, 1977; Чертовской и др., 1978; Бобкова, 1987, 2001, 2007; Bobkova et al., 2006; Осипов и др., 2019; Бобкова и др., 2020; Бобкова, Кузнецов, 2022), Архангельской области (Марченко, Карлов, 1962; Корняк, 1976; Молчанов, Полякова, 1977; Вакуров, Полякова, 1982; Чибисов, 1992; и др.) и других регионов.

Согласно официальным данным (Filipchuk et al., 2023), в фитомассе лесов Кольского Севера содержится в среднем 28.8 ± 1.6 тС/га или 158 ± 9 млн. тС. Фитомасса фитоценозов еловых старовозрастных лесов Мурманской области варьирует в широких пределах. В еловых осоково-кустарничково-сфагновых редколесьях, сформированных в понижениях рельефа с затрудненным дренажем и торфяно-болотными почвами, запасается 29.7 т га⁻¹ (Манаков, Никонов, 1981), в ельниках с иллювиально-гумусовыми подзолами, в напочвенном покрове которых преобладают травяная растительность – до 188 т га⁻¹ (табл.). Однако считается, что ельники, фитомасса которых превышает 150 т га⁻¹, являются исключением (Манаков, Никонов, 1979а). Запасы фитомассы наиболее представленных на территории региона ельников кустарничково-зеленомошных, произрастающих на плакорах, вершинах и верхних

частях склонов возвышенностей варьируют от 50 до 120 т га⁻¹ (Лукина, Никонов, 1993), что в среднем (если принять, что углерод составляет 50% сухой фитомассы) может соответствовать $25-60$ тС га⁻¹. По данным Г. И. Ушаковой с соавторами (2004) запасы углерода фитомассы ельника кустарничкового в центральной части Мурманской области составляют 40.8 ± 4 тС га⁻¹, а в целом по биогеоценозу – 115.5 ± 16 тС га⁻¹. Ельник травяно-кустарничковый горно-таежного пояса Хибинских гор со слабоподзолистой иллювиально-многогумусовой песчаной почвой, сформированный на горно-ледниковой хорошо дренированной террасе запасает 209.7 ± 29.4 тС га⁻¹, при этом на фитомассу приходится около 45.9 ± 5 тС га⁻¹.

Северотаежные ельники черничные в центральной части Европейской части РФ в нижней части бассейна Белого моря запасают в фитомассе в среднем 163 т га⁻¹ (Марченко, Карлов, 1962; Корняк, 1976), а травяные – в среднем 283 т га⁻¹ (Молчанов, Полякова, 1977). Средний запас фитомассы в заболоченных северотаежных ельниках составляет 110 т га⁻¹ (Вакуров, Полякова, 1982).

На северо-востоке Европейской части России (Республика Коми), в крайне северной подзоне тайги в еловых старовозрастных насаждениях запасается от

38.8 т га⁻¹ фитомассы (Чертовской и др., 1978). В этой же таёжной подзоне в древостое ельника чернично-сфагнового с торфянисто-подзолисто-глееватой супесчаной почвой запасается 59.4 т га⁻¹ фитомассы (Бобкова и др., 2010), значительно увеличиваясь при продвижении к югу. В древостое северотаежного ельника чернично-сфагнового аккумулируется 109 т га⁻¹ фитомассы, а среднетаежного – 179 т га⁻¹ (Бобкова и др., 2010). В северотаежных старовозрастных ельниках на подзолистых иллювиально-гумусово-железистых и на полугидроморфных торфянисто-подзолисто-глееватых почвах в ельниках черничных запасается от 94.5 до 181 т га⁻¹ фитомассы (Бобкова, Надуткин, 1977; Бобкова, 1987; Коренные еловые леса..., 2006). В южной части республики, приуроченной к средней подзоне тайги, в коренных ельниках черничных запас фитомассы доходит до 193.8 т га⁻¹. В рассматриваемых биогеоценозах отмечается тренд на сокращение запасов фитомассы напочвенного покрова и доли его в запасах фитомассы фитоценоза при продвижении с севера на юг. Так, в ельниках черничных северной тайги запасы в среднем составляют 17 ± 1.7 т га⁻¹, а южной тайги – 3.1 ± 0.4 т га⁻¹, при этом доля в запасах снижается от

15% до 2% (Бобкова, 1987; Коренные еловые леса..., 2006).

По данным Н. И. Казиминова и Р. М. Морозовой (1973) в средневозрастных реднетаежных ельниках различных типов запасы фитомассы могут варьировать от 37.9 т га⁻¹ в ельниках лишайниково-каменистых до 106.5 т га⁻¹ в кисличных, возрастая с изменением класса бонитета от V к I. Фитомасса и доля напочвенного покрова в данном ряду снижается. В возрастной динамике ельника черничного, произрастающего на подзоле иллювиально-гумусово-железистом на завалуненной песчаной морене, отмечается рост фитомассы от 33.4 т га⁻¹ в 22-х летнем насаждении, достигая максимума в возрасте 126 лет (258.7 т га⁻¹). При этом доля напочвенного покрова в запасах фитомассы сохраняется в пределах от 1.3 до 1.9%, а ее фитомасса непрерывно возрастает (от 1.3 до 4.6 т га⁻¹). После достижения возраста 140-150 лет фитомасса в стареющих древостоях постепенно уменьшается. В перестойных насаждениях (150-180 лет) III – V классов бонитета фитомасса может варьировать от 190 до 254 т га⁻¹ (Щербаков, Зайцева, 1971).

В Финляндии и Швеции по одним оценкам (Kauppi et al., 1997) запасы угле-

рода в фитомассе елового древостоя варьируют по градиенту с севера на юг от 10 тС га⁻¹ до 40 тС га⁻¹ в соответствии с изменением среднегодовой температуры в районе исследований от -2 до +4 °С. Однако, согласно более современным исследованиям Р. Merilä с соавторами (Merilä et al., 2024) в еловых биогеоценозах возрастом от 70 до 170 лет Северной Финляндии (67°60' – 66°18') углерод древесной фитомассы ели варьирует от 32 до 56.2 тС га⁻¹. Запас углерода надземной фитомассы напочвенного покрова колеблется от 0.9 до 1.9 тС га⁻¹. Запасы углерода в целом по биогеоценозу изменяются от 92 до 123 тС га⁻¹, при этом на фитоценоз приходится от 38.8 до 62.9 тС га⁻¹. В еловых лесах Южной Финляндии (63°33' – 60°38') запасы углерода значительно выше и варьируют от 115.8 в ельниках 55-80 лет до 187.2 тС га⁻¹ в старовозрастном ельнике (170 лет). На напочвенный покров приходится от 0.2 до 2.7 тС га⁻¹, а в целом по биогеоценозам запасы углерода варьируют от 179 до 259.7 тС га⁻¹. По данным L. Finér с соавторами (Finér et al., 2003) в ельнике (140 лет) на востоке Финляндии (63°51') запасы составляют 175.5 тС га⁻¹, из них на древостой приходится 105.3 тС га⁻¹, а на надземную фитомассу напочвенного покрова около 1.2 тС га⁻¹.

Еловые древостои Швеции (64°07') среднего возраста 40 лет, сформированные на месте рубок 1960-х годов, содержат в фитомассе древостоя 47.5 тС га⁻¹ (Kleja et al., 2008). Суммарный запас углерода в фитомассе древостоя и напочвенного покрова составляет 50.5 тС га⁻¹. В неморально-бореальном (hemiboreal) 40-летнем ельнике в Швеции запас углерода в основных пулах фитомассы составляет 82.6 тС га⁻¹. В Норвегии ельники черничные, произрастающие на границе средней и южной тайги (59°36' – 59°41') в условиях океанического климата на бедных подзолистых увлажненных почвах, возраст древостоя которых варьирует от 115 до 190 лет, запасают от 55.8 до 109.1 тС га⁻¹ (Kristensen et al., 2015).

В неморально-бореальных старовозрастных (179-185 лет) еловых лесах Латвии (56°14' – 57°34') различного породного состава запасы углерода варьируют от 225 ± 11 и 227 ± 40 т га⁻¹ в лесах на увлажненных и осушенных минеральных почвах до 250 ± 32 т га⁻¹ на сухих минеральных почвах с нормальным режимом увлажнения (Kēniņa et al., 2018).

Еловые бореальные леса по запасам органического углерода в живой фитомассе характеризуются значительной вариабельностью, что свидетельствует о

влиянии различных факторов на накопление углерода в фитомассе. При движении к югу фитомасса еловых биогеоценозов закономерно возрастает. Среднетаежные ельники запасают в 2-5 раз больше органической массы, а южнотаетежные и неморально-бореальные еловые сообщества – до 7-8 раз. Но дифференциация по зональному фактору не всегда однозначно объясняет варьирование запасов углерода в еловых лесах, что указывает на комбинированное влияние различных факторов, определяющих депонирование углерода в живой фитомассе. Различия также заметны в пределах северотаетной подзоны, так, можно сделать вывод, что ельники Северо-Востока Европейской части РФ более продуктивны, чем ельники Фенноскандии, при этом наиболее продуктивны ельники на севере центральной части Европейской части России (Базилевич, 1993). Важной характеристикой распределения фитомассы в ельниках является значительный вклад фитомассы напочвенного покрова в общий запас северотаетных фитоценозов, тогда как доля напочвенной растительности в более южных подзонах тайги значительно меньше.

Известно, что в Европейской части России существует тренд к усыханию

еловых древостоев (Неволин, Грицынин, 2002; Леонов, 2007; Цветков, Цветков, 2007). Такие изменения связывают с изменением климата, преобладанием спелых и перестойных насаждений и, как следствие, появлением корневых гнилей и вспышек размножения насекомых (Маслов, 1972; Катаев, Мозолевская, 1981), и другими факторами. Масштабные усыхания ельников не могут не сказаться на углеродном цикле в этих биогеоценозах. Так, например, отмечается трехкратное снижение поглощающей способности на значительных территориях, занимаемых еловыми лесами в Новгородской области (Карелин и др., 2020).

На сегодняшний день известно, что малонарушенные старовозрастные лесные биогеоценозы, в которых преобладают естественные процессы, являются уникальными природными комплексами, рефугиумами биоразнообразия (Зайцева и др., 2002; Framstad et al., 2013) и накопителями углерода (Luyssaert, 2008; Framstad et al., 2013; Лукина и др., 2023; Jansons et al., 2025). Однако о скорости накопления углерода старовозрастными лесами продолжают научные дискуссии (Gundersen et al., 2021), что указывает на необходимость исследований в таких экосистемах.

Таблица. Сводная таблица сведений о фитомассе и запасах углерода еловых фитоценозов по литературным данным

Зонально-гео- графическая приурочен- ность	Регион	Фито- масса, т га ⁻¹	Углерод фито- массы, тС га ⁻¹	Авторы	Пояснения (напочвенный покров)		
Северная тайга	Мурманская об- ласть	29.7		Манаков, Никонов, 1981; Манаков, Никонов, 1979а	Осоково-кустарничково-сфаг- новое редколесье		
		до 188			Травяной		
		50 – 120		(Лукина, Никонов, 1993)	Кустарничково-зеленомошный		
			40.8	Ушакова и др., 2004	Травяно-кустарничковый горно-таежного пояса		
			45.9				
	Финляндия		38.8 – 63.4	Merilä et al., 2024	Кустарничково-зеленомошный (<i>Hylocomium-myrtillus</i> type)		
	Архангельская область	163		Марченко, Карлов, 1962; Корняк, 1976	Черничный		
		283		Молчанов, Полякова, 1977	Травяной		
		110		Вакуров, Полякова, 1982	На заболоченных почвах		
	Республика Коми	59.4		Бобкова и др., 2010	Чернично-сфагновый (<i>крайне северная тайга</i>)		
		109			Чернично-сфагновый		
		94.5 – 181	до 86.8	Бобкова, Надуткин, 1977; Бобкова, 1987; Коренные еловые леса..., 2006	Черничный		
		179		Бобкова и др., 2010	Чернично-сфагновый		
		160.5		Бобкова, 1987; Ко- ренные еловые леса..., 2006	Долгомошно-сфагновый		
	193.8	91	Черничный свежий				
	181.7	86.5	Черничный влажный				
Средняя тайга	Карелия	37.9		Казимиров, Моро- зова, 1973	Средневозраст- ные	Лишайниково- каменистый	
		46				Долгомошный	
		53.7				Болотно-травяной	
		57.8				Брусничный	
		85.7				Черничный	
		97.2				Чернично-кисличный	
		106.5				Кисличный	
		33.4 – 258.7				Черничный в ряду возрастов от 22 до 138 лет	
		Южная тайга	Финляндия			118.5 – 187	Merilä et al., 2024
				104.7	Черничный (<i>Mirtillus</i> type)		
	106.5			Finér et al., 2003	Кустарничковый (<i>Vaccinium- Mirtillus</i> type)		
Швеция			49.9 – 50.5	Kleja et al., 2008	Черничный средневозрастный		
Норвегия			55.8 – 109.1	Kristensen et al., 2015	Черничный		
Неморально-бо- реальная по- лоса	Швеция		82.6	Kleja et al., 2008	Травяной средневозрастный		
	Латвия		125*	Ķēniņa et al., 2018	Черничный-сфагновый и долго- мошный		
			131*		Черничный		
			150*		Кислично-зеленомошный		

Примечание: знаком (*) отмечены данные о запасах углерода фитомассы древостоя.

Всего около 34% лесов мира являются девственными малонарушенными экосистемами и большая часть из них (61%) приходится на Бразилию, Россию и Канаду, (ФАО, 2022), при этом доля таких лесов продолжает сокращаться. На севере Европейской части России сохранились значительные площади малонарушенных еловых биогеоценозов (Зайцева и др., 2002; Коренные еловые леса..., 2006; Сохранение ценных природных ..., 2011).

Относительно недолгая история промышленной заготовки леса в Мурманской области, а также отсутствие традиции у коренного населения практики подсечно-огневого земледелия позволяют рассматривать современные перестойные леса как малонарушенные биогеоценозы с естественной пространственной и возрастной структурой (Экологический атлас ..., 1999). Согласно лесному плану Мурманской области (Лесной план ..., 2019), на долю перестойных хвойных лесов приходится 33.7% всего запаса насаждений (23% лесопокрытой площади). При сравнении с соседними странами – Финляндией, Швецией и Норвегией, где таких лесов, соответственно, только 10, 11 и 15% (Framstad et al., 2013), можно сделать вывод о значительном потенциале заполярных лесных экосистем

Северо-Запада РФ в секвестрации углерода.

Сосновые леса региона являются наиболее продуктивными (Мелехов, 1961; Цветков, Семенов, 1985; Цветков, 2002), и промышленные рубки проводились в первую очередь в них. В связи с истощением запасов сосны только с 1966 года началось незначительное освоение ельников (Никонов и др., 1981). Однако, по данным Лесного плана (2019) на долю спелых и перестойных еловых насаждений приходится 36.9 и 51.2% всего запаса, соответственно, тогда как на те же группы возраста сосновых лесов приходится только 12.9 и 30.8%. Таким образом, основная доля коренных (старовозрастных) лесов, не подверженных эксплуатации, являющихся резерватами естественного генофонда растений и эталонами экосистем, существующими в состоянии динамического равновесия, приходится на еловые биогеоценозы и в меньшей степени на сосновые. Это сравнение подчеркивает важность исследований способности именно еловых биогеоценозов Мурманской области к поглощению и аккумуляции атмосферного углерода.

Основными компонентами, формирующими пул углерода фитомассы (живой биомассы) в таёжных фитоценозах

являются, в первую очередь, древостой, а также живой напочвенный покров. Вклад подроста и подлеска незначительный. Так, в среднетаежных заболоченных ельниках вклад подроста и подлеска в общий запас составляет не более 0.7% (Кузнецов, 2010), что также характерно и для среднетаежных ельников (Бобкова и др., 2014) различных возраста и типов, сформированных на подзолистых почвах (менее 1% в общем запасе). В коренных среднетаежных ельниках Республики Коми (разнотравно-черничном и чернично-сфагновом) вклад подроста и подлеска в запас фитомассы фитоценоза варьирует от 0.71 до 0.78%, запасы составляют всего около 0.7 т га⁻¹ (Бобкова, Кузнецов, 2022). В ельниках Ленинградской области доля подроста и подлеска от запасов фитомассы фитоценоза (без учета напочвенного покрова) варьирует от 1.3% до 2.4 %, причем максимальный вклад в заболоченных условиях (Грязькин и др., 2021). В среднетаёжных сосняках черничных в Республике Карелия доля подроста и подлеска от запаса углерода фитомассы (без учета ЖНП, но с учетом КДО) составляет 0.1 – 2.4% (Пеккоев и др., 2024).

Известно, что в Мурманской области возобновление леса в северотаежных ельниках происходит слабо, количество молодняка редко способно превышать

3000 экз. га⁻¹, а в наиболее распространенных ельниках черничниках варьирует от 1000 до 1500 экз. га⁻¹ (Паршевников, Чертовской, 1961). В северотаежных коренных ельниках Республики Коми в зависимости от типа леса количество подроста может варьировать от 1400 до 8800 экз. га⁻¹, а в среднетаежных – от 1100 до 5600 экз. га⁻¹ (Коренные еловые леса..., 2006).

Живой напочвенный покров активно участвует в биопродукционном процессе. Недоучет данного компонента фитоценоза может приводить к некорректным оценкам запасов фитомассы (Грозовская, 2014; Артемьева, 2022). Исследования живого напочвенного покрова в северотаежных лесах особенно важно, по причине формирования значительной доли пула углерода фитомассы (Манаков, Никонов, 1981; Бобкова, 1987; Базилевич, 1993; Лукина, Никонов, 1996; Коренные еловые леса..., 2006).

Считается, что наиболее репрезентативными зональными фитоценозами Мурманской области в контексте их продукционной способности являются те биогеоценозы, которые сформированы в автоморфных позициях ландшафта (Лукина, Никонов, 1996). Согласно исследованиям К. Н. Манакова и В. В. Никонова (1981), немаловажным и определяющим

продуктивность внутризональных фитоценозов фактором является геохимическая сопряженность биогеоценозов. Высота и экспозиция склонов влияют на абиотические факторы, непосредственно определяющие тепловой, световой и ветровой режим.

Рельеф Мурманской области отличается своеобразием, холмистостью, пересеченностью и расчлененностью, что накладывает отпечаток на процессы динамики органического вещества в биогеоценозах. Распространены ледниковые аккумулятивные образования в виде озов, друмлинов и холмистых морен, пространства между ними зачастую заняты болотами, либо водоемами (Паршевников, Чертовской, 1961). Наличие морен обуславливает завалуненность, легкость механического состава и значительную водопроницаемость почвообразующих пород. Крутизна склонов и небольшая мощность моренного слоя, который подстигается кристаллическими породами, способствуют интенсивному перемещению влаги в понижения (Манаков, Никонов, 1979а). Рельеф определяет условия для развития растительного покрова, что отражается на различии типов, состава, структуры и производительности лесов Кольского Севера (Манаков, Никонов, 1979б). Это обосновывает необходимость

исследований фитомассы древостоя с учетом позиции насаждений в пределах геохимически сопряженного ландшафта (Манаков, Никонов, 1981; Лукина и др., 2021). При этом геохимический ландшафт понимается как совокупность сопряженных элементарных ландшафтов (биогеоценозов), степень подчиненности которых определяет емкость биологического круговорота минеральных элементов в сочетании с интенсивностью процессов их абиотического перемещения (Полынов, 1956; Глазовская, 1964; Манаков, Никонов, 1981).

Согласно исследованиям (Манаков, Никонов, 1981) в Мурманской области в автоморфных условиях формируются ельники, представленные классом ельников кустарничково-зеленомошных (*Piceeta fruticuloso-hylocomiosa*), в транзитных – представлены классом травяных (*P. herbosa*, сформированы на богатых и хорошо увлажненных почвах). В аккумулятивных позициях геохимического ландшафта, в условиях застойного увлажнения, формируются ельники сфагновые (*P. sphagnosa*).

Известно, что приуроченность к позиции ландшафта может определять не только смену типов леса, но и особенно структуры древостоев и их состояние, что отмечалось в профиле сосновой

катены в Тверской области (Стороженко, Глухова, 2023). Известно, что положение в различных позициях ландшафта малонарушенных пихтово-буковых лесов (Кавказский государственный биосферный заповедник) слабо отражается на различиях ценофлоры (в отличие от лесов более низкого сукцессионного статуса), но при этом близость грунтовых вод в аккумулятивных позициях ландшафта влияет на некоторую обособленность ценофлоры лесов в данной позиции (Шевченко и др., 2025). Согласно исследованию, проведенному в Карелии (Ахметова, 2019), влияние геохимически сопряженного ландшафта может проявляться в смене окислительных условий на восстановительные при переходе от автоморфных к аккумулятивным позициям. В транзитных частях катены фиксируется более глубокий вынос веществ из подзолистых горизонтов и их контрастное накопление в альфегумусовых слоях по сравнению с автономными участками.

Согласно исследованиям, проведенным во вторичных горных хвойных лесах США (Орегон) рельеф оказывает нелинейный эффект на продуктивность, так, важным фактором является доступность солнечной радиации, что напрямую связано с экспозицией склонов, однако даже

при достаточной освещенности продуктивность снижается, в зависимости от крутизны склонов и неблагоприятных соотношений элементов питания (Perry, Oetter 2024). Важность экспозиции и количества солнечной радиации подтверждает другое исследование, проведенное в широколиственных лесах Пенсильвании (США), где при этом также был сделан вывод о роли вогнутых (ложбины) элементов рельефа, положительно влияющих на продуктивность лесных фитоценозов (Smith et al., 2016). Повышенная продуктивность отмечалась в наиболее пониженных частях исследованного водосбора в Южной Каролине (США), где произрастают вторичные сосновые и смешанные леса, но при недостатке влаги в засушливые годы данные формы рельефа становились значительно менее продуктивны (Ghasemian et al., 2018). Отмечалось также, что в высокотравных прериях в центральной части Северной Америки (Канзас, США) продуктивность надземной фитомассы возрастала от водоразделов и бровок склонов к склонам и низинам (Nippert et al., 2011). К сходным выводам пришли исследователи, изучив межгорные засушливые степи с преобладанием полыни и можжевельника в штате Айдахо (США), где в низинных элементах рельефа и на пологих склонах

с аккумуляцией осадков и наносов формируются наиболее плодородные почвы, что отражается на более высокой продуктивности (Strand et al., 2008), однако в данных экосистемах не выявлена значимость фактора экспозиции склонов. Исходя из результатов исследований, проведенных в бореальных лесах Эвенкии (Сергеева и др., 2020), где распространена многолетняя мерзлота, и посвященных запасам подстилки и фитомассы напочвенного покрова, самые высокие показатели фитомассы живого напочвенного покрова и запасов подстилки характерны для насаждений, произрастающих в пониженных элементах рельефа и на склонах северной экспозиции. Рельеф и экспозиция влияют на накопление почвенного углерода, о чем свидетельствуют исследования. Так, согласно норвежским исследованиям (Devos et al., 2023), известно, что возможно более значительное накопление почвенного углерода на склонах северной экспозиции, относительно южных, а также с увеличением крутизны склона уменьшаются запасы почвенного углерода. В горных буковых лесах Италии отмечалось, что на плоских и выпуклых формах рельефа запасы углерода в почве были выше, чем на пологих и крутых склонах, а почвы в вогнутых склонах аккумулировали больше всего

углерода (Conforti et al., 2016). В рассмотренных работах рельеф определяет водный режим, поступление и миграцию элементов, радиационный баланс, мощность почвенного профиля и состав растительности. Наибольшая продуктивность и запас почвенного углерода чаще связаны с понижениями, вогнутыми элементами рельефа с умеренным увлажнением и участками с благоприятным световым режимом; напротив, сухие автоморфные условия, крутые склоны и участки с застойным увлажнением в аккумулятивных позициях нередко ограничивают рост древостоев или меняют структуру биомассы в пользу корней. При этом эффект рельефа редко является линейным, поскольку зависит от природной зоны, стадии сукцессии сообществ, видового состава, эдификаторного влияния древостоя, засух, пожаров, и масштаба наблюдений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Леса бореальной зоны, около двух третей которых сосредоточено на территории Российской Федерации, являются критически важным резервуаром углерода и играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле. Запасы фитомассы и углерода в еловых фитоценозах характеризуются широким диапазоном

значений, обусловленным зонально-географическими, климатическими, эдафическими и орографическими факторами. Несмотря на закономерное увеличение запасов от севера к югу, дифференциация по зональному фактору не всегда исчерпывающе объясняет наблюдаемую вариабельность, что указывает на комплексное влияние локальных условий. Так, на продуктивность еловых лесов влияет рельеф, экспозиция склонов и связанные с ними тепловой, световой и водный режимы, что особенно важно для регионов со сложным, расчлененным рельефом.

Несмотря на длительную историю изучения, современные количественные оценки запасов фитомассы и углерода для еловых биогеоценозов остаются фрагментарными и нуждаются в обновлении. Расширение географии исследований, охват недостаточно изученных районов, учет типологического разнообразия ельников, а также естественной биогеоценотической мозаики являются приоритетными задачами для уточнения углерододепонирующего потенциала данных экосистем.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках Государственного задания Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН (рег. номер

125021402277-1) «Структурно-функциональная организация и динамика наземных экосистем Евро-Арктического региона», а также в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В. А., Бердси Р. А.* Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева, 1994. 173 с.
- Алексеев В. А., Рак Л. Д.* Признаки ослабления елей под влиянием атмосферного загрязнения // Лесоведение. 1985. № 5. С. 37–43.
- Артемьева И. Н.* Пространственное распределение, фитомасса и годичная продукция нижних ярусов растительности в северотаежных сосняках лишайниковых ХМАО-Югры: автореф. дисс. ... канд. сельскохозяйств. наук: 06.03.02. Екатеринбург, 2022. 20 с.
- Арчегова И. Б., Заболотская Т. Г., Кононенко А. В., Русанова Г. В., Слобода А. В., Юдинцева И. И.* Продуктивность и круговорот элементов в северных фитоценозах. Л.: Наука, 1975. 130 с.

- Ахметова Г. В. Геохимические особенности почв волнистой озерно ледниковой песчаной равнины среднетаежной подзоны Карелии // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2019. Вып. 100. С. 53–82. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-53-82
- Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
- Бобкова К. С. Биологическая продуктивность и компоненты баланса углерода в заболоченных коренных ельниках Севера // Лесоведение. 2007. № 6. С. 45–54.
- Бобкова К. С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 165 с.
- Бобкова К. С. Еловые леса / Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. С. 52–68.
- Бобкова К. С., Кузнецов М. А. Бюджет углерода в экосистемах среднетаежных коренных ельников // Журнал общей биологии. 2022. Т. 83, № 6. С. 434–449. DOI: 10.31857/S0044459622060033
- Бобкова К. С., Кузнецов М. А., Манов А. В., Галенко Э. П., Тужилкина В. В. Фитомасса древостоев ельников чернично-сфагновых на болотно-подзолистых почвах Европейского Северо-Востока // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2010. № 1. С. 19–26.
- Бобкова К. С., Машика А. В., Смагин А. В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах. СПб.: Наука, 2014. 270 с.
- Бобкова К. С., Надуткин В. Д. Продуктивность древесной растительности еловых лесов средней подзоны тайги / Экология ельников Севера: Тр. Коми фил. АН СССР. Сыктывкар: Изд-во Коми фил. АН СССР, 1977. № 32. С. 45–51.
- Бобкова К. С., Робакидзе Е. А., Торлопова Н. В. Круговорот элементов минерального питания в экосистеме коренного разнотраво-черничного ельника средней тайги (Республика Коми) Сибирский лесной журнал. 2020. № 2. С. 40–54. DOI: 10.15372/SJFS20200205
- Вакуров А. Д., Полякова А. Ф. Круговорот азота и минеральных элементов в низкопродуктивных ельниках се-

верной тайги / Круговорот химических веществ в лесу. М.: Наука, 1982. С. 20–33.

Ведерников К. Е. Влияние абиотических и биотических факторов на еловые фитоценозы и научное обоснование подходов к управлению их устойчивостью: дисс. ... д-ра биол. наук: 03.00.16. Ижевск, 2026. 368 с.

Восьмое национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьёй 7 Киотского протокола. Москва, 2022. URL: <https://clck.ru/Kfnln> (дата обращения: 18.05.2026).

Геникова Н. В., Мамонтов В. Н., Крышень А. М. Обилие лесных кустарничков и микроклиматические условия в экотонном комплексе ельник черничный – вырубка // Растительные ресурсы. 2021. Т. 57. № 2. С. 99–114. DOI: 10.31857/S0033994621020059

Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Издательство МГУ, 1964. 230 с.

Григорьев А. А., Дэви Н. М., Кукарских В. В.,

Вьюхин С. О., Галимова А. А., Моисеев П. А., Фомин В. В. Структура и динамика древостоев верхней границы леса в западной части плато Путорана // Экология. 2019. № 4. С. 243–254. DOI: 10.1134/S0367059719040073

Грозовская И. С. Оценка биомассы эколого-ценотических группировок видов напочвенного покрова в бореальных темнохвойных лесах: дисс. ... д-ра биол. наук: 03.02.08. Владимир, 2014. 169 с.

Грязькин А. В., Беляева Н. В., Кази И. А., Го Л., Тун Ч. Запасы углерода в сосняках и ельниках Ленинградской области // The Scientific Heritage. 2021. № 64. С. 3–6. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-64-2-3-6

Ершов В. В., Лукина Н. В., Данилова М. А., Исаева Л. Г., Сухарева Т. А., Смирнов В. Э. Оценка состава дождевых выпадений в хвойных лесах на северном пределе распространения при аэротехногенном загрязнении // Экология. 2020. № 4. С. 265–274. DOI: 10.31857/S0367059720040058

Живов Д. А., Сухарева Т. А. Запасы азота и углерода в почвах еловых лесов Мурманской области // Вестник Нижневартского государственного

- го университета. 2025. № 4(72). С. 84–100. DOI 10.36906/2311-4444/25-4/07
- Забоева И. В., Русанова Г. В., Слобода А. В.* Биопродуктивность ельников-зеленошников средней и северной тайги Коми АССР // Растительные ресурсы. 1973. Т. IX, Вып. 1. С. 100–106.
- Зайцева И. В., Кобяков К. Н., Никонов В. В., Смирнов Д. Ю., Лукина Н. В.* Коренные старовозрастные леса Мурманской области // Лесоведение. 2002. № 2. С. 15–23.
- Игнатенко И. В., Норин Б. Н., Рахманина А. Т.* Круговорот зольных элементов и азота в некоторых биогеоценозах восточно-европейской лесотундры // Почвы и растительность мерзлотных районов СССР. Магадан: ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 335–350.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н.* Депонирование углерода в лесах России // Углерод в биогеоценозах. Чтения памяти акад. В.Н. Сукачева. Вып. XV. М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. С. 59–98.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н., Уткин А. И., Пряжников А. А., Замолотчиков Д. Г.* Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3–10.
- Кадулин М. С., Кончик Г. Н.* Изменения потока диоксида углерода из почв лесных экосистем под воздействием техногенного загрязнения в Кольской Субарктике // Почвоведение. 2021. № 10. С. 1281–1292. DOI: 10.31857/S0032180X21100075
- Казимиров Н. И.* Ель. М.: Лесная промышленность, 1983. 80 с.
- Казимиров Н. И., Морозова Р. М.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Изд-во «Наука». Ленинградское отделение, 1973. С. 1–175.
- Карелин Д. В., Замолотчиков Д. Г., Шилкин А. В., Куманяев А. С., Попов С. Ю., Тельнова Н. О., Гитарский М. Л.* Влияние прогрессирующего распада древостоя на углеродный обмен еловых лесов // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 493. № 1. С. 89–93. DOI: 10.31857/S2686739720070087
- Катаев О. А., Мозолевская Е. Г.* Экология стволовых вредителей. Л., 1981. 87 с.
- Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата.* 1997.

- URL: <https://base.garant.ru/12131392/> (дата обращения: 18.05.2026).
- Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. СПб.: Наука, 2006. 337 с.
- Корнейкова М. В., Васенев В. И., Салтан Н. В., Слуковская М. В., Сошина А. С., Заводских М. С., Сотникова Ю. Л., Долгих А. В. Анализ эмиссии CO₂ городскими почвами в условиях Крайнего Севера // Почвоведение. 2023. № 11. С. 1385–1399. DOI: 10.31857/S0032180X23600373
- Корняк В. С. Биологическая продуктивность ели и березы при совместном произрастании / Вопросы лесовосстановления на Европейском Севере. Архангельск, 1976. С. 31–41.
- Кузнецов М. А. Динамика содержания органического углерода в заболоченных ельниках средней тайги: дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Сыктывкар, 2010. 141 с.
- Леонов Д. С. Об экспедиционных обследованиях ФГУ «Российский центр защиты леса» на территории Архангельской области / Усыхающие ельники Архангельской области, проблемы и пути их решения. Архангельск, 2007. С. 53–55.
- Лесной план Мурманской области. В 2-х томах. Мурманск, 2019. Т. 1. 75 с. Т. 2. 106 с.
- Лукина Н. В., Гераськина А. П., Кузнецова А. И., Смирнов В. Э., Горнов А. В., Шевченко Н. Е., Тихонова Е. В., Тебенькова Д. Н., Басова Е. В. Функциональная классификация лесов: актуальность и подходы к разработке // Лесоведение. 2021. № 6. С. 566–580. DOI: 10.31857/S0024114821060085
- Лукина Н. В., Никонов В. В. Изменение первичной продуктивности ельников под влиянием техногенного загрязнения на Кольском полуострове // Лесоведение. 1991. № 4. С. 37–45.
- Лукина Н. В., Никонов В. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. В 2-х ч. Ч. 1. Апатиты: изд-во Кольского научного центра РАН, 1996. 213 с.
- Лукина Н. В., Никонов В. В. Состояние еловых биогеоценозов Севера в условиях техногенного загрязнения. Апатиты, 1993. 134 с.
- Лукина Н. В., Тихонова Е. В., Шевченко Н. Е., Горнов А. В., Кузнецова А. И., ... & Шанин В. Н. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный

- статус лесов / под ред. чл.-корр. РАН Н. В. Лукиной. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 232 с.
- Лукина Н. В., Смирнов В. Э., Тебенькова Д. Н., Данилова М. А., Тихонова Е. В., ... & Ручинская Е. В. Роль старовозрастных лесов в аккумуляции и хранении углерода // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 4. С. 536–557. DOI: 10.31857/S2587556623040064
- Манаков К. Н., Никонов В. В. Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера. Л: Наука, 1981. 196 с.
- Манаков К. Н., Никонов В. В. Основные показатели биологического круговорота в еловых лесах Кольского полуострова // Почвоведение. 1979а. № 8. С. 60–69.
- Манаков К. Н., Никонов В. В. Первичная биологическая продуктивность ельников Кольского полуострова // Ботанический журнал. 1979б. Т. 64. № 2. С. 232–241.
- Марченко А. И., Карлов Е. М. Минеральный обмен в еловых лесах северной тайги и лесотундры Архангельской области // Почвоведение. 1962. № 7. С. 52–66.
- Маслов А. Д. Усыхание еловых лесов от засух на европейской территории СССР // Лесоведение. 1972. № 6. С. 77–87.
- Мелехов И. С. Особенности лесов Кольского полуострова и пути их изучения / Леса Кольского полуострова и их возобновление. Москва: Изд-во АН СССР, 1961. С. 5–18.
- Моисеев П. А., Галимова А. А., Бубнов М. О., Дэви Н. М., Фомин В. В. Динамика древостоев и их продуктивности на верхнем пределе произрастания в Хибинах на фоне современных изменений климата // Экология. 2019. № 5. С. 341–355. DOI: 10.1134/S0367059719050081
- Молчанов А. А., Полякова А. Ф. Характеристика основных типов леса / Основные типы биogeоценозов северной тайги. М.: Наука, 1977. С. 44–203
- Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов парниковых газов из источников и их абсорбции поглотителями за 1990–2023 гг. Ч. 1. Москва, 2025. 422 с.
- Неволин О. А., Грицынин А. Н. История Березниковского лесхоза. Архангельск, 2002. 464 с.
- Никонов В. В. Теоретические и прикладные аспекты изучения биологиче-

- ской продуктивности и минерального обмена в лесных экосистемах Кольского Севера / Почвенно-агрохимические исследования в ботанических садах СССР. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1984. С. 37–46.
- Никонов В. В., Лукина Н. В., Смирнова Е. В., Исаева Л. Г. Влияние *Picea obovata* и *Pinus sylvestris* на первичную продуктивность нижних ярусов хвойных лесов Кольского полуострова // Ботанический журнал. 2002. 87(8). С. 107–119.
- Никонов В. В., Цветков В. Ф., Марчуков Ю. П. Основы организации и ведения хозяйства в еловых лесах Мурманской области (практические рекомендации). Апатиты: Кольский филиал АН СССР. 1981. 44 с.
- Одум Ю. П. Экология: в 2 томах / перевод с англ. Ю. М. Фролова; под ред. В. Е. Соколова. Москва: Мир, 1986. Т. 2. 376 с.
- Орлова М. А. Формирование плодородия почв – экосистемная функция лесов / Разнообразие и динамика лесных экосистем России. А. С. Исаев (ред.). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013а. С. 235–258.
- Осипов А. Ф., Тужилкина В. В., Дымов А. А., Бобкова К. С. Запасы фитомассы и органического углерода среднетаежных ельников при восстановлении после сплошнолесосечной рубки // Известия РАН. Серия биологическая. 2019. № 2. С. 215–224. DOI: 10.1134/S0002332919020103
- Осипов А. Ф., Кутявин И. Н., Манов А. В., Кузнецов М. А., Бобкова К. С. Запасы и структура фитомассы древостоев северотаежных сосняков Республики Коми // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2022. № 4. С. 25–38.
- Паршевников А. Л., Чертовской В. Г. Типы еловых лесов и почвы Терского лесхоза // Леса Кольского полуострова и их возобновление. Москва. Изд-во АН СССР. 1961. С. 40–62.
- Пеккоев А. Н., Мошников С. А., Ромашкин И. В., Тесля Д. В. Запасы углерода в фитомассе древесных растений и крупных древесных остатках в старовозрастных сосняках черничных заповедника «Кивач» // Вопросы лесной науки. 2024. Т. 7. № 4. Статья 156. DOI: 10.31509/2658-607x-202474-156
- Полынов Б. Б. Избранные труды. М.: Издательство АН СССР, 1956. 751 с.
- Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. Г. А. Заварзин (ред.).

- М.: Наука, 2007. 315 с.
- Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата.* 1992. URL: <https://base.garant.ru/2133066/> (дата обращения: 17.05.2026).
- Рослесинфорг. «Рослесинфорг ко Дню Арктики пересчитал леса в Арктической зоне России» от 28.02.2023 г. URL: <https://clck.su/fBdEY> (дата обращения: 18.05.2026)
- Рысин Л. П., Савельева Л. И.* Еловые леса России. М.: Наука, 2002. 335 с.
- Рябов Н. С., Исаева Л. Г.* Сравнение оценки фитомассы древостоя с применением моделей на примере еловых фитоценозов Мурманской области // Вопросы лесной науки. 2026. Т. 9. № 1. № 187. С. 1–32. DOI:10.31509/2658-607x-202691-187
- Сергеева О. В., Мухортова Л. В., Кривобок Л. В.* Распределение запасов подстилки и биомассы живого напочвенного покрова в северной тайге Центральной Эвенкии в зависимости от рельефа // Сибирский лесной журнал. 2020. № 1. С. 36–46 DOI: 10.15372/SJFS20200104
- Сохранение ценных природных территорий Северо-Запада России. Анализ репрезентативности сети ООПТ Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской областей, Республики Карелия, Санкт-Петербурга. СПб, 2011. 506 с.
- Столбовой В. С., Нильсон С., Швиденко А. З., МакКаллум И.* Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного баланса наземных экосистем России. Часть 3. Биогеохимические потоки углерода // Экология. 2004. № 3. С. 179–184.
- Стороженко В. Г., Глухова Т. В.* Структура древостоев сосны на катене от бора до олиготрофного болота // Лесоведение. 2023. № 6. С. 577–586. DOI: 10.31857/S0024114823060098
- Страхов В. В., Писаренко А. И., Борисов В. А.* Глобализация лесного хозяйства. М.: ВНИИЦлесресурс, 2001. 400 с.
- Сухарева Т. А., Иванова Е. А., Ершов В. В., Зенкова И. В., Корнейкова М. А., Штабровская И. М., Сошина А. С.* Содержание и запасы углерода и азота в наземных экосистемах Мурманской области // Вопросы лесной науки. 2023. Т. 6. № 2. С. 1–75. DOI: 10.31509/265-607x-202362-125
- Тишков А. А., Белоновская Е. А., Глазов П. М., Кренке А. Н., Пузаченко А. Ю., Тертицкий Г. М., Титова С. В.* Тундра и

- лес российской Арктики: вектор взаимодействия в условиях современного потепления климата // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3(39). С. 48–61. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-48-61.
- Тишков А. А., Кренке А. Н., Титова С. В., Белоновская Е. А., Царевская Н. Г. Изменения надземной фитомассы экосистем Северной Евразии в XXI веке // Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле. 2021. Т. 497. № 2. С. 193–198. DOI: 10.31857/S2686739721040162
- Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Росгидромет. Санкт-Петербург: Научные технологии, 2022. 676 с.
- Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: База данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 708 с.
- Усольцев В. А. Фитомасса и первичная продуктивность лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 569 с.
- Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесообразующих пород в климатических градиентах Евразии (к менеджменту биосферных функций лесов). Екатеринбург: ООО «Издательство УМЦ УПИ», 2016. 384 с.
- Уткин А. И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3–20.
- Ушакова Г. И., Шмакова Н. Ю., Королева Н. Е. Влияние видового состава и структуры фитомассы растительных сообществ на накопление углерода в горных и предгорных биогеоценозах Хибин (Мурманская область) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2004. Т. 109. № 2. С. 57–65.
- ФАО. 2022. Состояние лесов мира 2022. Лесохозяйственные стратегии развития как инструмент экологически сбалансированного восстановления и создания инклюзивной, жизнестойкой и устойчивой экономики. Рим, ФАО. DOI: 10.4060/cb9360ru. URL: <https://clck.ru/BYmkU> (дата обращения: 18.05.2026).
- Цветков В. Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2002. 380 с.
- Цветков В. Ф., Семенов Б. А. Сосняки Крайнего Севера. М., 1985. 116 с.
- Цветков В. Ф., Цветков И. В. К проблеме усыхания еловых лесов в Архангельской области // Усыхающие ель-

- ники Архангельской области, проблемы и пути их решения. Сборник. Департамент лесного комплекса. Архангельск. обл. центр защиты леса Арханг. области. Архангельск. 2007. С. 20–30.
- Чепурко Н. Л. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в лесных и тундровых сообществах Хибинских гор // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 213–219.
- Чепурко Н. Л. Структура и годовой баланс биомассы в лесах Хибинских гор // Почвы и продуктивность растительных сообществ. Вып. 1. М.: Изд-во МГУ, 1972. С. 94–116.
- Черненко Т. В., Бочкарев Ю. Н. Динамика еловых насаждений Кольского Севера в условиях воздействия природно-антропогенных факторов среды // Журнал общей биологии. 2013. Т. 74. № 4. С. 283–303.
- Чертовской В. Г., Елизаров Ф. П., Семенова Б. А., Корняк В. С. Лесорастительные условия и продуктивность предтундровых лесов // Экология таежных лесов. Архангельск, 1978. С. 32–41.
- Чибисов Г. А. Биологическая продуктивность производных ельников, формируемых рубками ухода / Повышение продуктивности лесов Европейского Севера: Сб. науч. тр. АИЛиЛХ. Архангельск, 1992. С. 34–42.
- Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.
- Шевченко Н. Е., Браславская Т. Ю., Дорошина Г. Я. Восстановление хвойно-широколиственных лесов Северо-Западного Кавказа после рубок в разных позициях мезорельефа // Растительность России. 2025. № 52. С. 119–154. DOI: 10.31111/vegrus/2025.52.119
- Щербаков Н. М., Зайцева Н. Л. Биометрическая характеристика спелых ельников юга Карелии / Лесные растительные ресурсы южной Карелии. Петрозаводск, 1971. С. 22–40.
- Экологический атлас Мурманской области. Г. В. Калабин (ред.). Апатиты, 1999. 48 с.
- Adoption of the Paris agreement. 2015. Conference of the Parties Twenty-first session Paris, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1 URL: <https://clck.su/SIIPA> (дата обра-

щения: 18.05.2026).

АМАР, 2021: Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts, Summary for Policy-Makers. <https://www.amap.no/documents/download/6730/inline> (дата обращения: 18.05.2026).

Bobkova K. S., Tuzhilina V. V., Kuzin S. N. Carbon cycle in spruce ecosystems of the Northern taiga subzone // Russian Journal of Ecology. 2006. Vol. 37. No. 1. P. 19–27. DOI: 10.1134/S1067413606010048

Bonan G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests // Science. 2008. Vol. 320. P. 1444–1449. DOI: 10.1126/science.1155121

Conforti M., Lucà F., Scarciglia F., Matteucci G., Buttafuoco G. Soil carbon stock in relation to soil properties and landscape position in a forest ecosystem of southern Italy (Calabria region) // Catena. 2016. Vol. 144. P. 23–33. DOI: 10.1016/j.catena.2016.04.023

Devos C. C., Ohlson M., Næsset E., Klanderud K., Bollandsås O. M. Tree biomass does not correlate with soil carbon stocks in forest-tundra ecotones along a 1100 km latitudinal gradient in Norway // Ecography. 2023. P. e06893. DOI: 10.1111/ecog.06893

Dial R. J., Maher C. T., Hewitt R. E., Sullivan P. F. Sufficient conditions for rapid range expansion of a boreal conifer // Nature. 2022. 608: P. 546–551. DOI: 10.1038/s41586-022-05093-2

Ershov V., Sukhareva T., Ryabov N., Ivanova E., Shtabrovskaya I. Estimation of carbon and nitrogen contents in forest ecosystems in the background areas of the Russian Arctic (Murmansk Region) // Forests. 2024. Vol. 15(1). Article № 29. DOI: 10.3390/f15010029

Ershov V. V., Ryabov N. S., Sukhareva T. A. The link between stemflow chemistry and forest canopy condition under industrial air pollution // Forests. 2026. Vol. 17(1). Article 147. DOI: 10.3390/f17010147

Feng M., Sexton J. O., Wang P., Montesano P. M., Calle L., ... & Neigh C. S. R. Northward shift of boreal tree cover confirmed by satellite record // Biogeosciences. 2026. Vol. 23. P.1089–1101. DOI: 10.5194/bg-23-1089-2026

Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Zolina T. A., Seleznev A. A. Carbon stock in living biomass of Russian forests: new quantification based on data from the first cycle of the State Forest Inventory // Central European Forestry Journal. 2023. No. 69. P. 248–261. DOI: 10.2478/forj-2023-0021

- Finér L., Mannerkoski H., Piirainen S., Starr M.* Carbon and nitrogen pools in an old-growth, Norway spruce mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting // *Forest Ecology and Management*. 2003. Vol. 174. P. 51–63.
- Framstad E., de Wit H., Mäkipää R., Larjavaara M., Vesterdal L., Karltun E.* Biodiversity, carbon storage and dynamics of old northern forests. Copenhagen // *Nordic Council of Ministers*. 2013. 130. P. DOI: 10.6027/TN2013–507
- Friedlingstein P., O'Sullivan M., Jones M. W., Andrew M. R., Bakker D. C., ... & Zheng B.* Global Carbon Budget 2023 // *Earth System Science Data*. 2023. Vol. 15. P. 5301–5369. DOI: 10.5194/essd-15-5301-2023
- Friedlingstein P., O'Sullivan M., Jones M., Andrew R., Hauck J., Landschützer P., ... & Zeng J.* Global Carbon Budget 2024 // *Earth System Science Data*. 2025. Vol. 17. P. 965–1039. DOI: 10.5194/essd-17-965-2025
- Ghasemian S., Kastens J., Billings S. A.* The Relative Sensitivity of Forest Productivity to Landscape Position vs. Microtopography // *AGU Fall Meeting Abstracts*. 2018. P. B33K–2822.
- Gundersen P., Thybring E. E., Nord-Larsen T., Vesterdal L., Nadelhoffer K. J., Johannsen V. K.* Old-growth forest carbon sinks overestimated // *Nature*. 2021. Vol. 591. E21–E23.
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Core Writing Team, H.-O. Purner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Minnenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lutschke, V. Muller, A. Okem, B. Rama (eds.). Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 p., DOI: 10.1017/9781009325844
- IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Core Writing Team, R.K. Pachauri, L.A. Meyer (eds.), Geneva, Switzerland: IPCC, 2014, 151 p.
- Jansons Ā., Kēniņa L., Jaunslaviete I., Bičkovskis K.* Trade-off between forest carbon sink in hemiboreal old-growth stands and wood-based solutions // *European Journal of Forest Research*. 2025. Vol. 144. P. 411–420. DOI: 10.1007/s10342-025-01766-5
- Kauppi P. E., Posch M., Hänninen P., Henttonen V.*

- nen H. M., Ihalainen A., Lappalainen E., Starr M., Tamminen P.* Carbon reservoirs in peatlands and forests in the boreal regions of Finland // *Silva Fennica*. 1997. Vol. 31. No. 1. P. 13–25.
- Këniņa L., Elferts D., Bāders E., Jansons Ā.* Carbon Pools in a Hemiboreal Over-Mature Norway Spruce Stands // *Forests*. 2018. Vol. 9. No. 7. P. 435. DOI: 10.3390/f9070435
- Kleja D. B., Svensson M., Majdi H., Jansson P.-E., Langvall O., ... & Ågren G. I.* Pools and fluxes of carbon in three Norway spruce ecosystems along a climatic gradient in Sweden // *Biogeochemistry*. 2008. Vol. 89. P. 7–25. DOI: 10.1007/s10533-007-9136-9
- Kristensen T., Næsset E., Ohlson M., Bolstad P. V., Kolka R.* Mapping Above- and Below-Ground Carbon Pools in Boreal Forests: The Case for Airborne Lidar // *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10. No. 10. P. DOI: 10.1371/journal.pone.0138450
- Kullman L., Öberg L.* Post-Little Ice Age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: a landscape ecological perspective // *Journal of Ecology*. 2009. Vol. 97(3). P. 415–429. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2009.01488.x
- Kurganova I. N., Karelin D. V., Kotlyakov V. M., Prokushkin A. S., Zamolodchikov D. G., ... & Shmakova N. Yu.* A Pilot National Network for Monitoring Soil Respiration in Russia: First Results and Prospects of Development // *Doklady Earth Sciences*. 2024. P. 1–8. DOI: 10.1134/S1028334X24603377
- Le Quéré C., Barbero L., Hauck J., Andrew R. M., Canadell J. G., Sitch S., Korsbakken J. I.* Global Carbon Budget 2018 // *Earth System Science Data Discussions*. 2018. Vol. 10(4). P. 2141–2194. DOI:10.5194/essd-2018-120
- Le Quéré C., Jackson R., Jones M., Smith A., Abernethy S., ... & Peters G.* Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement (Version 1.3) // *Global Carbon Project*. 2020. DOI: 10.18160/RQDW-BTJU
- Lukina N., Kuznetsova A., Tikhonova E., Smirnov V., Danilova M., ... & Knyazeva S.* Linking Forest Vegetation and Soil Carbon Stock in Northwestern Russia // *Forests*. 2020. Vol. 11. No. 9. P. 979. DOI: 10.3390/f11090979
- Luyssaert S., Schulze E. D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B. E., Ciais P., Grace J.* Old-growth forests as global carbon sinks // *Nature*. 2008. Vol. 455. P. 213–215. DOI: 10.1038/nature07276

- Merilä P., Lindroos A. J., Helmisaari H. S., Hilti S., Nieminen T. M., ... & Ukonmaaho L.* Carbon Stocks and Transfers in Coniferous Boreal Forests Along a Latitudinal Gradient // *Ecosystems*. 2024. Vol. 27. P. 151–167. DOI: 10.1007/s10021-023-00879-5
- Mo L., Zohner C. M., Reich P. B., Liang J., de Miguel S., ... & Ortiz-Malavasi E.* Integrated global assessment of the natural forest carbon potential // *Nature*. 2023. Vol. 624. No. 7990. P. 92–101. DOI: 10.1038/s41586-023-06723-z
- Nippert J. B., Ocheltree T. W., Skibbe A. M., Kangas L. C., Ham J. M., Arnold K. B., Brunsell N. A.* Linking plant growth responses across topographic gradients in tallgrass prairie // *Oecologia*. 2011. Vol. 166(4). P. 1131–1142. DOI: 10.1007/s00442-011-1948-6
- NOAA Arctic Report Card: Twenty years of tracking rapid Arctic warming and change. M. L. Druckenmiller, R. L. Thoman, T. A. Moon (eds.). 2025. DOI: 10.25923/nrzf-j897
- Nunes L. J. R., Meireles C. I. R., Pinto G. C. J., Almeida R. N. M. C.* Forest Contribution to Climate Change Mitigation: Management Oriented to Carbon Capture and Storage // *Climate*. 2020. Vol. 8. № 21. P. DOI: 10.3390/cli8020021
- Pan Y., Birdsey R. A., Phillips O. L., Houghton R., Fang J., ... & Murdiyarso D.* The enduring world Forest carbon sink // *Nature*. 2024. Vol. 631. P. 536–569. DOI: 10.1038/s41586-024-07602-x
- Pappas C., Maillet J., Rakowski S., Baltzer J. L., Barr A. G., ... & Zha T.* Aboveground tree growth is a minor and decoupled fraction of boreal forest carbon // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2020. Vol. 290. P. 108030. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.108030
- Perry D. A., Oetter D. R.* Thirty years of forest productivity in a mountainous landscape: the yin and yang of topography // *Ecosphere*. 2024. Vol. 15(7). P. e4865. DOI: 10.1002/ecs2.4865
- Rantanen M., Karpechko A. Y., Lipponen A., Nordling K., Hyvärinen O., Ruosteenoja K., Vihma T., Laaksonen A.* The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979 // *Communications earth & environment*. 2022. Vol. 3. Article ID: 168. DOI: 10.1038/s43247-022-00498-3
- Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S., Karminov V., Ontikov P., ... & Kraxner F.* Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. Article ID: 12825. DOI: 10.1038/s41598-021-92152-9

- Screen J. A., Audette A., Blackport R., Deser C., England M., ... & Yu H.* Causes and consequences of Arctic amplification elucidated by coordinated multimodel experiments // *Communications Earth & Environment*. 2026. Vol. 7(1). P. 23. DOI: 10.1038/s43247-025-03052-z
- Shmakova N. Yu., Ermolaeva O. V., Kopeina E. I., Litvinova T. I., Poloshevets T. V., Davydov D. A.* Phytomass and organic carbon stocks in the mountain tundra communities of the Khibiny Mountains, Murmansk Region, Russia // *Czech Polar Reports*. 2026. Vol. 15. No. 2. P. 258–284. DOI: 10.5817/CPR2025–2-16
- Shvidenko A., Ciais P., Patra P. K., Bastos A., Maksyutov S., ... & Schepaschenko D.* A System Reanalysis of the Current Greenhouse Gases Budget of Terrestrial Ecosystems in Russia // *Global Biogeochemical Cycles*. 2025. Vol. 39. No. 10. P. e2025GB008540 DOI: 10.1029/2025GB008540
- Smith D. C. L., Eissenstat D., Kaye M.* Variability in aboveground carbon driven by slope aspect and curvature in an eastern deciduous forest, USA // *Canadian Journal of Forest Research*. 2016. Vol. 47. P. 149–158. DOI: 10.1139/cjfr-2016-0147
- Strand E. K., Vierling L. A., Smith A. M. S., Bunting S. C.* Net changes in aboveground woody carbon stock in western juniper woodlands, 1946–1998 // *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2008. Vol. 113. Article G01013. DOI:10.1029/2007JG000544
- Tang J., Miller P. A., Persson A., Olefeldt D., Pilesjö P., ... & Christensen T. R.* Carbon budget estimation of a subarctic catchment using a dynamic ecosystem model at high spatial resolution // *Biogeosciences*. 2015. Vol. 12. No. 9. P. 2791–2808. DOI: 10.5194/bg-12-2791-2015
- Thurner M., Beer C., Santoro M., Carvalhais N., Wutzler T., ... & Schimmlus C.* Carbon stock and density of boreal and temperate forests // *Global Ecology and Biogeography*. 2014. Vol. 23 P. 297–310. DOI: 10.1111/geb.12125

REFERENCES

- Adoption of the Paris Agreement, *Conference of the Parties, Twenty-first session*, Paris, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1, 2015, available at: <https://clck.su/SIIPA> (2026, 18 May).
- Akhmetova G. V., *Geokhimicheskie osobennosti pochv volnistoi ozerno-lednikovoi peschanoi ravniny srednetaezhnoi podzony Karelii* (Geochemical features of soils in an undulating glaciolacustrine sandy plain in the middle taiga

- subzone of Karelia, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, Issue 100, pp. 53–82, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-53-82
- Alekseev V. A., Berdsi R. A., *Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot Rossii* (Carbon in forest and swamp ecosystems of Russia), Krasnoyarsk: In-t lesa im. V. N. Sukacheva, 1994, 173 p.
- Alekseev V. A., Rak L. D., *Priznaki oslableniya elei pod vliyaniem atmosfernogo zagryazneniya* (Signs of spruce decline under the influence of atmospheric pollution), *Lesovedenie*, 1985, No 5, pp. 37–43.
- AMAP, *Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts. Summary for Policy-Makers*, 2021, available at: <https://www.amap.no/documents/download/6730/inline> (2026, 18 May).
- Archegova I. B., Zabolotskaya T. G., Kononenko A. V., Rusanova G. V., Sloboda A. V., Yudintseva I. I., *Produktivnost' i krugovorot elementov v severnykh fitotsenozakh* (Productivity and element cycling in northern phytocenoses), Leningrad: Nauka, 1975, 130 p.
- Artemieva I. N., *Prostranstvennoe raspredelenie, fitomassa i godichnaya produktsiya nizhnikh yarusov rastitelnosti v severotaezhnykh sosnyakakh lishainikovykh KhMAO-Yugry* (Spatial distribution, phytomass and annual production of the lower vegetation layers in northern-taiga lichen pine forests of Khanty-Mansi Autonomous Okrug–Yugra), Extended abstract of candidate's thesis in agricultural sciences, Ekaterinburg, 2022, 20 p.
- Bazilevich N. I., *Biologicheskaya produktivnost' ekosistem Severnoi Evrazii* (Biological productivity of ecosystems of Northern Eurasia), Moscow: Nauka, 1993, 293 p.
- Bobkova K. S., *Biologicheskaya produktivnost' i komponenty balansa ugleroda v zabolochennykh korennykh elnikakh Severa* (Biological productivity and components of the carbon balance in paludified primary spruce forests of the North), *Lesovedenie*, 2007, No 6, pp. 45–54.
- Bobkova K. S., *Biologicheskaya produktivnost' khvoinykh lesov Evropeiskogo Severo-Vostoka* (Biological productivity of coniferous forests of the European North-East), Leningrad: Nauka, 1987, 165 p.
- Bobkova K. S., *Elovye lesa* (Spruce forests), In: *Bioproduktsionnyi protsess v lesnykh ekosistemakh Severa* (Bioproductive process in northern forest ecosystems), Saint Petersburg: Nauka, 2001, pp. 52–68.

- Bobkova K. S., Kuznetsov M. A., Byudzhet ugleroda v ekosistemakh srednetaezhnykh korennykh elnikov (Carbon budget in ecosystems of middle-taiga primary spruce forests), *Zhurnal obshchei biologii*, 2022, Vol. 83, No 6, pp. 434–449, DOI: 10.31857/S0044459622060033
- Bobkova K. S., Kuznetsov M. A., Manov A. V., Galenko E. P., Tuzhilkina V. V., Fitomassa drevostoev elnikov chernichnosfagnovykh na bolotno-podzolistykh pochvakh Evropeiskogo Severo-Vostoka (Stand phytomass of blueberry-sphagnum spruce forests on bog-podzolic soils of the European North-East), *Izvestiya VUZov. Lesnoi zhurnal*, 2010, No 1, pp. 19–26.
- Bobkova K. S., Mashika A. V., Smagin A. V., *Dinamika sodержaniya ugleroda organicheskogo veshchestva v srednetaezhnykh elnikakh na avtomorfnykh pochvakh* (Dynamics of organic matter carbon content in middle-taiga spruce forests on automorphic soils), Saint Petersburg: Nauka, 2014, 270 p.
- Bobkova K. S., Nadutkin V. D., Produktivnost' drevesnoi rastitelnosti elovykh lesov srednei podzony taigi (Productivity of tree vegetation of spruce forests in the middle taiga subzone), In: *Ekologiya elnikov Severa: Trudy Komi filiala AN SSSR* (Ecology of Northern Spruce Forests, Proceedings of the Komi Branch of the USSR Academy of Sciences), Syktyvkar: Izd-vo Komi filiala AN SSSR, 1977, No 32, pp. 45–51.
- Bobkova K. S., Robakidze E. A., Torloпова N. V., Krugovorot elementov mineralnogo pitaniya v ekosisteme koren-nogo raznotravno-chernichnogo elnika srednei taigi (Cycling of mineral nutrition elements in the ecosystem of a primary herb-blueberry spruce forest of the middle taiga, Komi Republic), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2020, No 2, pp. 40–54, DOI: 10.15372/SJFS20200205
- Bobkova K. S., Tuzhilkina V. V., Kuzin S. N., Carbon cycle in spruce ecosystems of the Northern taiga subzone, *Russian Journal of Ecology*, 2006, Vol. 37, No 1, pp. 19–27, DOI: 10.1134/S1067413606010048
- Bonan G. B., Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests, *Science*, 2008, Vol. 320, pp. 1444–1449, DOI: 10.1126/science.1155121
- Chepurko N. L., Biologicheskaya produktivnost' i krugovorot khimicheskikh elementov v lesnykh i tundrovyykh soobshchestvakh Khibinskikh gor (Biological productivity and cycling of chemical elements in forest and tundra

- communities of the Khibiny Mountains), In: *Biologicheskaya produktivnost' i krugovorot khimicheskikh elementov v rastitelnykh soobshchestvakh* (Biological productivity and cycle of chemical elements in plant communities), Leningrad: Nauka, 1971, pp. 213–219.
- Chepurko N. L., Struktura i godovoi balans biomassy v lesakh Khibinskiikh gor (Structure and annual biomass balance in forests of the Khibiny Mountains), In: *Pochvy i produktivnost' rastitelnykh soobshchestv* (Soils and productivity of plant communities), Issue 1, Moscow: Izd-vo MGU, 1972, pp. 94–116.
- Chernenkova T. V., Bochkarev Yu. N., Dinamika elovykh nasazhdenii Kolskogo Severa v usloviyakh vozdeistviya prirodno-antropogennykh faktorov sredy (Dynamics of spruce stands of the Kola North under the influence of natural and anthropogenic environmental factors), *Zhurnal obshchei biologii*, 2013, Vol. 74, No 4, pp. 283–303.
- Chertovskoi V. G., Elizarov F. P., Semanova B. A., Korniyak V. S., Lesorastitelnye usloviya i produktivnost' predtundrovyykh lesov (Forest-site conditions and productivity of pretundra forests), In: *Ekologiya taezhnykh lesov* (Ecology of taiga forests), Arkhangelsk, 1978, pp. 32–41.
- Chibisov G. A., Biologicheskaya produktivnost' proizvodnykh elnikov, formiruemykh rubkami ukhoda (Biological productivity of derivative spruce forests formed by thinning), In: *Povyshenie produktivnosti lesov Evropeiskogo Severa* (Increasing forest productivity in the European North), Arkhangelsk, 1992, pp. 34–42.
- Conforti M., Lucà F., Scarciglia F., Matteucci G., Buttafuoco G., Soil carbon stock in relation to soil properties and landscape position in a forest ecosystem of southern Italy (Calabria region), *Catena*, 2016, Vol. 144, pp. 23–33. DOI: 10.1016/j.catena.2016.04.023
- Devos C. C., Ohlson M., Næsset E., Klanderud K., Bollandsås O. M., Tree biomass does not correlate with soil carbon stocks in forest-tundra ecotones along a 1100 km latitudinal gradient in Norway, *Ecography*, 2023, e06893, DOI: 10.1111/ecog.06893.
- Dial R. J., Maher C. T., Hewitt R. E., Sullivan P. F., Sufficient conditions for rapid range expansion of a boreal conifer, *Nature*, 2022, Vol. 608, pp. 546–551. DOI: 10.1038/s41586-022-05093-2
- Ekologicheskii atlas Murmanskoi oblasti*

- (Ecological atlas of Murmansk Region), G. V. Kalabin (Ed.), Apatity, 1999, 48 p.
- Ershov V. V., Lukina N. V., Danilova M. A., Isaeva L. G., Sukhareva T. A., Smirnov V. E., Otsenka sostava dozhdevykh выпадений в хвойных лесах на северном пределе распространения при аэротехногенном загрязнении (Assessment of the composition of rainfall deposition in coniferous forests at the northern distribution limit under industrial air pollution), *Ekologiya*, 2020, No 4, pp. 265–274, DOI: 10.31857/S0367059720040058
- Ershov V. V., Ryabov N. S., Sukhareva T. A., The link between stemflow chemistry and forest canopy condition under industrial air pollution, *Forests*, 2026, Vol. 17, No 1, Article 147, DOI: 10.3390/f17010147
- Ershov V., Sukhareva T., Ryabov N., Ivanova E., Shtabrovskaya I., Estimation of carbon and nitrogen contents in forest ecosystems in the background areas of the Russian Arctic (Murmansk Region), *Forests*, 2024, Vol. 15, No 1, Article 29, DOI: 10.3390/f15010029
- FAO, *Sostoyanie lesov mira 2022. Lesokhozyaistvennyye strategii razvitiya kak instrument ekologicheskoi sbalansirovannogo vosstanovleniya i sozdaniya inkluzivnoi, zhiznesteikoi i ustoichivoi ekonomiki* (The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies), Rome: FAO, 2022, DOI: 10.4060/cb9360ru, available at: <https://clck.su/BYmkU> (2026, 18 May).
- Feng M., Sexton J. O., Wang P., Montesano P. M., Calle L., ... & Neigh C. S. R., Northward shift of boreal tree cover confirmed by satellite record, *Biogeosciences*, 2026, Vol. 23, pp. 1089–1101, DOI: 10.5194/bg-23-1089-2026
- Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Zolina T. A., Seleznev A. A., Carbon stock in living biomass of Russian forests: new quantification based on data from the first cycle of the State Forest Inventory, *Central European Forestry Journal*, 2023, No 69, pp. 248–261, DOI: 10.2478/forj-2023-0021.
- Finér L., Mannerkoski H., Piirainen S., Starr M., Carbon and nitrogen pools in an old-growth, Norway spruce mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting, *Forest Ecology and Management*, 2003, Vol. 174, pp. 51–63.
- Framstad E., de Wit H., Mäkipää R., Larjavaara M., Vesterdal L., Karlton E., *Biodiversity, carbon storage and dynamics*

- of old northern forests*, Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2013, 130 p., DOI: 10.6027/TN2013-507
- Friedlingstein P., O'Sullivan M., Jones M. W., Andrew M. R., Bakker D. C. E. ... & Zheng B., Global Carbon Budget 2023, *Earth System Science Data*, 2023, Vol. 15, pp. 5301–5369, DOI: 10.5194/essd-15-5301-2023
- Friedlingstein P., O'Sullivan M., Jones M., Andrew R., Hauck J., Landschützer P. ... & Zheng B., Global Carbon Budget 2024, *Earth System Science Data*, 2025, Vol. 17, pp. 965–1039, DOI: 10.5194/essd-17-965-2025
- Genikova N. V., Mamontov V. N., Kryshen A. M., Obilie lesnykh kustarnichkov i mikroklimaticheskie usloviya v ekotonnom komplekse elnik chernichnyi – vyrubka (Abundance of forest dwarf shrubs and microclimatic conditions in the blueberry spruce forest – clear-cut ecotone complex), *Rastitelnye resursy*, 2021, Vol. 57, No. 2, pp. 99–114, DOI: 10.31857/S0033994621020059
- Ghasemian, S., Kastens, J., Billings, S. A., The Relative Sensitivity of Forest Productivity to Landscape Position vs. Microtopography, *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2018.
- Glazovskaya M. A., *Geohimicheskie osnovy tipologii i metodiki issledovaniy prirodnih landshaftov* (Geochemical foundations of typology and methods of research of natural landscapes), Moscow, 1964, 230 p.
- Grigoriev A. A., Devi N. M., Kukarskikh V. V., Vyukhin S. O., Galimova A. A., Moiseev P. A., Fomin V. V., Struktura i dinamika drevostoev verkhnei granitsy lesa v zapadnoi chasti plato Putorana (Structure and dynamics of stands at the upper forest limit in the western part of the Putorana Plateau), *Ekologiya*, 2019, No 4, pp. 243–254, DOI: 10.1134/S0367059719040073
- Grozovskaya I. S., *Otsenka biomassy ekologo-tsenoticheskikh gruppirovok vidov napochvennogo pokrova v borealnykh temnokhvoinykh lesakh* (Assessment of biomass of ecological-coenotic groups of ground-cover species in boreal dark-coniferous forests), Candidate's thesis in biological sciences, Vladimir, 2014, 169 p.
- Gryazkin A. V., Belyaeva N. V., Kazi I. A., Go L., Tun Ch., Zapasy ugleroda v sosnyakakh i elnikakh Leningradskoi oblasti (Carbon stocks in pine and spruce forests of Leningrad Region), *The Scientific Heritage*, 2021, No 64, pp. 3–6, DOI: 10.24412/9215-0365-2021-64-2-3-6

- Gundersen P., Thybring E. E., Nord-Larsen T., Vesterdal L., Nadelhoffer K. J., Johannsen V. K., Old-growth forest carbon sinks overestimated, *Nature*, 2021, Vol. 591, pp. E21–E23, DOI: 10.1038/s41586-021-03266-z
- Ignatenko I. V., Norin B. N., Rakhmanina A. T., Krugovorot zolnykh elementov i azota v nekotorykh biogeotsenozakh vostochno-evropeiskoi lesotundry (Cycling of ash elements and nitrogen in some biogeocenoses of the East European forest-tundra), In: *Pochvy i rastitelnost' merzlotnykh raionov SSSR*, Magadan: DVNTs AN SSSR, 1973, pp. 335–350.
- IPCC, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, R. K. Pachauri, L. A. Meyer (Eds.), Geneva: IPCC, 2014, 151 p.
- IPCC, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press, 2022, 3056 p., DOI: 10.1017/9781009325844
- Isaev A. S., Korovin G. N., Deponirovanie ugleroda v lesakh Rossii (Carbon sequestration in Russian forests), In: *Uglerod v biogeotsenozakh. Chteniya pamyati akad. V. N. Sukacheva* (Carbon in Biogeocenoses. Readings in Memory of Academician V. N. Sukachev), Issue XV, Moscow: VNIITslesresurs, 1997, pp. 59–98.
- Isaev A. S., Korovin G. N., Utkin A. I., Pryazhnikov A. A., Zamolodchikov D. G., Otsenka zapasov i godichnogo deponirovaniya ugleroda v fitomasse lesnykh ekosistem Rossii (Assessment of carbon stocks and annual sequestration in phytomass of Russian forest ecosystems), *Lesovedenie*, 1993, No 5, pp. 3–10.
- Jansons Ā., Kēniņa L., Jaunslaviete I., Bičkovskis K., Trade-off between forest carbon sink in hemiboreal old-growth stands and wood-based solutions, *European Journal of Forest Research*, 2025, Vol. 144, pp. 411–420, DOI: 10.1007/s10342-025-01766-5
- Kadulin M. S., Koptsik G. N., Izmeneniya potoka dioksida ugleroda iz pochv lesnykh ekosistem pod vozdeistviem tekhnogenogo zagryazneniya v Kolskoi Subarktike (Changes in carbon

- dioxide flux from soils of forest ecosystems under industrial pollution in the Kola Subarctic), *Pochvovedenie*, 2021, No 10, pp. 1281–1292, DOI: 10.31857/S0032180X21100075
- Karelin D. V., Zamolodchikov D. G., Shilkin A. V., Kumanyaev A. S., Popov S. Yu., Telnova N. O., Gitarskii M. L., Vliyanie progressiruyushchego raspada drevestoya na uglerodnyi obmen elovykh lesov (Effect of progressive stand decay on carbon exchange in spruce forests), *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o Zemle*, 2020, Vol. 493, No 1, pp. 89–93, DOI: 10.31857/S2686739720070087.
- Kataev O. A., Mozolevskaya E. G., *Ekologiya stvolovykh vreditelei* (Ecology of stem pests), Leningrad, 1981, 87 p.
- Kauppi P. E., Posch M., Hänninen P., Henttonen H. M., Ihalainen A., Lappalainen E., Starr M., Tamminen P., Carbon reservoirs in peatlands and forests in the boreal regions of Finland, *Silva Fennica*, 1997, Vol. 31, No 1, pp. 13–25.
- Kazimirov N. I., *El' (Spruce)*, Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1983, 80 p.
- Kazimirov N. I., Morozova R. M., *Biologicheskii krugovorot veshchestv v elnikakh Karelii* (Biological cycling in spruce forests of Karelia), Leningrad: Nauka, 1973, 175 p.
- Kēniņa L., Elferts D., Bāders E., Jansons Ā., Carbon Pools in a Hemiboreal Over-Mature Norway Spruce Stands, *Forests*, 2018, Vol. 9, No 7, p. 435, DOI: 10.3390/f9070435
- Kiotskii protokol k Ramochnoi konventsii Organizatsii Obedinennykh Natsii ob izmenenii klimata (Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change), 1997, available at: <https://base.garant.ru/12131392/> (2024, 30 March).
- Kleja D. B., Svensson M., Majdi H., Jansson P.-E., Langvall O., Bergkvist B., Johansson M.-B., Weslien P., Truus L., Lindroth A., Ågren G. I., Pools and fluxes of carbon in three Norway spruce ecosystems along a climatic gradient in Sweden, *Biogeochemistry*, 2008, Vol. 89, pp. 7–25, DOI: 10.1007/s10533-007-9136-9
- Korennyye elovye lesa Severa: bioraznoobra-zie, struktura, funktsii (Primary spruce forests of the North: biodiversity, structure, functions), Saint Petersburg: Nauka, 2006, 337 p.
- Korneikova M. V., Vasenev V. I., Saltan N. V., Slukovskaya M. V., Soshina A. S., ... & Dolgikh A. V., Analiz emissii CO₂ go-rodskimi pochvami v usloviyakh Krainego Severa (Analysis of CO₂ emission from urban soils of the Kola

- peninsula (European Arctic)), *Pochvovedenie*, 2023, No 11, pp. 1385–1399, DOI: 10.31857/S0032180X23600373
- Korniyak V. S., Biologicheskaya produktivnost' eli i berezy pri sovместnom proizrastanii (Biological productivity of spruce and birch in mixed growth), In: *Voprosy lesovosstanovleniya na Evropeiskom Severe* (Issues of reforestation in the European North), Arkhangelsk, 1976, pp. 31–41.
- Kristensen T., Næset E., Ohlson M., Bolstad P. V., Kolka R., Mapping Above- and Below-Ground Carbon Pools in Boreal Forests: The Case for Airborne Lidar, *PLoS ONE*, 2015, Vol. 10, No 10, DOI: 10.1371/journal.pone.0138450
- Kullman L., Öberg L., Post-Little Ice Age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: a landscape ecological perspective, *Journal of Ecology*, 2009, Vol. 97, No 3, pp. 415–429, DOI: 10.1111/j.1365-2745.2009.01488.x
- Kurganova I. N., Karelin D. V., Kotlyakov V. M., Prokushkin A. S., Zamolodchikov D. G. ... & Shmakova N. Yu., A Pilot National Network for Monitoring Soil Respiration in Russia: First Results and Prospects of Development, *Doklady Earth Sciences*, 2024, pp. 1–8, DOI: 10.1134/S1028334X24603377
- Kuznetsov M. A., *Dinamika sodержaniya organicheskogo ugleroda v zabolochennykh elnikakh srednei taigi* (Dynamics of organic carbon content in paludified spruce forests of the middle taiga), Candidate's thesis in biological sciences, Syktyvkar, 2010, 141 p.
- Le Quéré C., Barbero L., Hauck J., Andrew R. M., Canadell J. G., Sitch S., Korsbakken J. I., Global Carbon Budget 2018, *Earth System Science Data Discussions*, 2018, Vol. 10, No 4, pp. 2141–2194, DOI: 10.5194/essd-2018-120
- Le Quéré C., Jackson R., Jones M., Smith A., Abernethy S., ... & Peters G., Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement (Version 1.3), *Global Carbon Project*, 2020, DOI: 10.18160/RQDW-BTJU
- Leonov D. S., Ob ekspeditsionnykh obsledovaniyakh FGU "Rossiiskii tsentr zashchity lesa" na territorii Arkhangel'skoi oblasti (On expedition surveys of the Russian Forest Protection Centre in Arkhangelsk Region), In: *Usykhayushchie elniki Arkhangel'skoi oblasti, problemy i puti ikh resheniya* (The drying spruce forests of the Arkhangelsk region: problems and solutions), Arkhangelsk, 2007, pp. 53–55.
- Lesnoi plan Murmanskoi oblasti. V 2-kh tomakh* (Forest plan of Murmansk Re-

- gion. In 2 volumes), Murmansk, 2019, Vol. I. 75 p., Vol. II. 106 p.
- Lukina N. V., Geraskina A. P., Kuznetsova A. I., Smirnov V. E., Gornov A. V., ... & Basova E. V., Funktsionalnaya klassifikatsiya lesov: aktualnost' i podkhody k razrabotke (Functional classification of forests: relevance and approaches to development), *Lesovedenie*, 2021, No 6, pp. 566–580, DOI: 10.31857/S0024114821060085.
- Lukina N. V., Nikonov V. V., *Biogeokhimicheskie tsikly v lesakh Severa v usloviyakh aerotekhnogenного zagryazneniya. Ch. 1* (Biogeochemical cycles in northern forests under industrial air pollution. Part 1), Apatity: Izd-vo Kolskogo nauchnogo tsentra RAN, 1996, 213 p.
- Lukina N. V., Nikonov V. V., *Izmenenie pervichnoi produktivnosti elnikov pod vliyaniem tekhnogenного zagryazneniya na Kolskom poluostrove* (Changes in primary productivity of spruce forests under industrial pollution on the Kola Peninsula), *Lesovedenie*, 1991, No 4, pp. 37–45.
- Lukina N. V., Nikonov V. V., *Sostoyanie elovykh biogeotsenozov Severa v usloviyakh tekhnogenного zagryazneniya* (State of northern spruce biogeocenes under industrial pollution), Apatity, 1993, 134 p.
- Lukina N. V., Smirnov V. E., Tebenkova D. N., Danilova M. A., Tikhonova E. V., ... & Ruchinskaya E. V., Rol' starovozrastnykh lesov v akkumulyatsii i khranении ugleroda (Role of old-growth forests in carbon accumulation and storage), *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2023, Vol. 87, No 4, pp. 536–557, DOI: 10.31857/S2587556623040064
- Lukina N. V., Tikhonova E. V., Shevchenko N. E., Gornov A. V., Kuznetsova A. I., ... & Shanin V. N., *Akkumulyatsiya ugleroda v lesnykh pochvakh i suktseSSIONnyi status lesov* (Carbon accumulation in forest soils and successional status of forests), N. V. Lukina (Ed.), Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2018, 232 p.
- Lukina N., Kuznetsova A., Tikhonova E., Smirnov V., Danilova M., ... & Knyazeva S., Linking Forest Vegetation and Soil Carbon Stock in Northwestern Russia, *Forests*, 2020, Vol. 11, No 9, p. 979, DOI: 10.3390/f11090979
- Luyssaert S., Schulze E. D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B. E., Ciais P., Grace J., Old-growth forests as global carbon sinks, *Nature*, 2008, Vol. 455, pp. 213–215, DOI: 10.1038/nature07276
- Manakov K. N., Nikonov V. V., *Biologicheskii*

- krugovorot mineralnykh elementov i pochvoobrazovanie v elnikakh Krainego Severa* (Biological cycling of mineral elements and soil formation in spruce forests of the Far North), Leningrad: Nauka, 1981, 196 p.
- Manakov K. N., Nikonov V. V., Osnovnye pokazateli biologicheskogo krugovorota v elovykh lesakh Kolskogo poluostrova (Main indicators of biological cycling in spruce forests of the Kola Peninsula), *Pochvovedenie*, 1979a, No 8, pp. 60–69.
- Manakov K. N., Nikonov V. V., Pervichnaya biologicheskaya produktivnost' elnikov Kolskogo poluostrova (Primary biological productivity of spruce forests of the Kola Peninsula), *Botanicheskii zhurnal*, 1979b, Vol. 64, No 2, pp. 232–241.
- Marchenko A. I., Karlov E. M., Mineralnyi obmen v elovykh lesakh severnoi taigi i lesotundry Arkhangel'skoi oblasti (Mineral exchange in spruce forests of the northern taiga and forest-tundra of Arkhangel'sk Region), *Pochvovedenie*, 1962, No 7, pp. 52–66.
- Maslov A. D., Usykhaniye elovykh lesov ot zasukh na evropeiskoi territorii SSSR (Drying of spruce forests due to droughts in the European territory of the USSR), *Lesovedenie*, 1972, No 6, pp. 77–87.
- Melekhov I. S., Osobennosti lesov Kolskogo poluostrova i puti ikh izucheniya (Specific features of forests of the Kola Peninsula and approaches to their study), In: *Lesy Kolskogo poluostrova i ikh vozobnovlenie* (Forests of the Kola Peninsula and their restoration), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1961, pp. 5–18.
- Merilä P., Lindroos A. J., Helmisaari H.-S., Hilli S., Nieminen T. M., Nöjd P., Rautio P., Salemaa M., Tupek B., Ukonmaanaho L., Carbon Stocks and Transfers in Coniferous Boreal Forests Along a Latitudinal Gradient, *Ecosystems*, 2024, Vol. 27, pp. 151–167, DOI: 10.1007/s10021-023-00879-5
- Mo L., Zohner C. M., Reich P. B., Liang J., de Miguel S. ... & Ortiz-Malavasi E., Integrated global assessment of the natural forest carbon potential, *Nature*, 2023, Vol. 624, No. 7990, pp. 92–101, DOI: 10.1038/s41586-023-06723-z
- Moiseev P. A., Galimova A. A., Bubnov M. O., Devi N. M., Fomin V. V., Dinamika drevostoev i ikh produktivnosti na verkhnem predele proizvodstva v Khibinakh na fone sovremennykh izmenenii klimata (Dynamics of stands and their productivity at the upper growth

- limit in the Khibiny Mountains under current climate change), *Ekologiya*, 2019, No 5, pp. 341–355, DOI: 10.1134/S0367059719050081
- Molchanov A. A., Polyakova A. F., Kharakteristika osnovnykh tipov lesa (Characteristics of the main forest types), In: *Osnovnye tipy biogeotsenozov severnoi taiga* (The main types of biogeocenoses of the northern taiga), Moscow: Nauka, 1977, pp. 44–203.
- Natsionalnyi doklad o kadastre antropogennykh vybrosov parnikovykh gazov iz istochnikov i ikh absorptsii poglotitelyami za 1990–2023 gg. Ch. 1* (National inventory report on anthropogenic greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks for 1990–2023. Part 1), Moscow, 2025, 422 p.
- Nevolin O. A., Gritsynin A. N., *Istoriya Bereznikovskogo leskhoza* (History of the Bereznykovsky forestry enterprise), Arkhangelsk, 2002, 464 p.
- Nikonov V. V., Lukina N. V., Smirnova E. V., Isaeva L. G., Vliyanie *Picea obovata* i *Pinus sylvestris* na pervichnuyu produktivnost' nizhnikh yarusov khvoinykh lesov Kolskogo poluostrova (Effect of *Picea obovata* and *Pinus sylvestris* on primary productivity of lower layers of coniferous forests of the Kola Peninsula), *Botanicheskii zhurnal*, 2002, Vol. 87, No 8, pp. 107–119.
- Nikonov V. V., Teoreticheskie i prikladnye aspekty izucheniya biologicheskoi produktivnosti i mineralnogo obmena v lesnykh ekosistemakh Kolskogo Severa (Theoretical and applied aspects of studying biological productivity and mineral exchange in forest ecosystems of the Kola North), In: *Pochvennoagrokhimicheskie issledovaniya v botanicheskikh sadakh SSSR* (Soil and agrochemical research in botanical gardens of the USSR), Apatity: Izd-vo Kolskogo filiala AN SSSR, 1984, pp. 37–46.
- Nikonov V. V., Tsvetkov V. F., Marchukov Yu. P., *Osnovy organizatsii i vedeniya khozyaistva v elovykh lesakh Murmanskoi oblasti (prakticheskie rekomendatsii)* (Principles of organization and management in spruce forests of Murmansk Region: practical recommendations), Apatity: Kolskii filial AN SSSR, 1981, 44 p.
- Nippert J. B., Ocheltree T. W., Skibbe A. M., Kangas L. C., Ham J. M., Arnold K. B., Brunsell N. A., Linking plant growth responses across topographic gradients in tallgrass prairie, *Oecologia*, 2011, Vol. 166(4), 1131–1142, DOI: 10.1007/s00442-011-1948-6
- NOAA Arctic Report Card: Twenty years

- of tracking rapid Arctic warming and change, M. L. Druckenmiller, R. L. Thoman, T. A. Moon (Eds.), 2025, DOI: 10.25923/nrzf-j897
- Nunes L. J. R., Meireles C. I. R., Pinto G. C. J., Almeida R. N. M. C., Forest Contribution to Climate Change Mitigation: Management Oriented to Carbon Capture and Storage, *Climate*, 2020, Vol. 8, No 21, DOI: 10.3390/cli8020021
- Odum Yu. P., *Ekologiya: v 2 tomakh. Tom 2* (Ecology: in 2 volumes. Vol. 2), translated from English by Yu. M. Frolov, V. E. Sokolov (Ed.), Moscow: Mir, 1986, 376 p.
- Orlova M. A., Formirovanie plodorodiya pochv – ekosistemnaya funktsiya lesov (Formation of soil fertility as an ecosystem function of forests), In: *Raznoobrazie i dinamika lesnykh ekosistem Rossii* (Diversity and dynamics of forest ecosystems in Russia), A. S. Isaev (Ed.), Moscow: Tovarithchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2013, pp. 235–258.
- Osipov A. F., Kutuyavin I. N., Manov A. V., Kuznetsov M. A., Bobkova K. S., Zapasy i struktura fitomassy drevostoev severotaezhnykh sosnyakov Respubliki Komi (Stocks and structure of stand phytomass in northern-taiga pine forests of the Komi Republic), *Izvestiya VUZov. Lesnoi zhurnal*, 2022, No 4, pp. 25–38.
- Osipov A. F., Tuzhilkina V. V., Dymov A. A., Bobkova K. S., Zapasy fitomassy i organicheskogo ugleroda srednetaezhnykh elnikov pri vosstanovlenii posle sploshnolesosechnoi rubki (Stocks of phytomass and organic carbon in middle-taiga spruce forests during recovery after clear-cutting), *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya*, 2019, No 2, pp. 215–224, DOI: 10.1134/S0002332919020103
- Pan Y., Birdsey R. A., Phillips O. L., Houghton R., Fang J., ... & Murdiyarso D., The enduring world Forest carbon sink, *Nature*, 2024, Vol. 631, pp. 536–569, DOI: 10.1038/s41586-024-07602-x
- Pappas C., Maillet J., Rakowski S., Baltzer J. L., Barr A. G., ... & Zha T., Aboveground tree growth is a minor and decoupled fraction of boreal forest carbon input, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2020, Vol. 290, P. 108030, DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.108030
- Parshevnikov A. L., Chertovskoi V. G., Tipy elovykh lesov i pochvy Terskogo leskhoza (Types of spruce forests and soils of the Tersky forestry enterprise), In: *Lesy Kolskogo poluostrova i ikh vozobnovlenie* (Forests of the Kola Peninsula and their restoration), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1961, pp. 40–62.
- Pekkoiev A. N., Moshnikov S. A., Romashkin I. V., Teslya D. V., Zapasy ugleroda

- v fitomasse drevesnykh rastenii i krupnykh drevesnykh ostatkakh v starovozrastnykh sosnyakakh chernichnykh zapovednika "Kivach" (Carbon stocks in woody plant phytomass and coarse woody debris in old-growth blueberry pine forests of the Kivach Reserve), *Voprosy lesnoi nauki*, 2024, Vol. 7, No 4, Article 156, DOI: 10.31509/2658-607x-202474-156
- Perry D. A., Oetter. D. R., Thirty years of forest productivity in a mountainous landscape: the yin and yang of topography, *Ecosphere*, 2024, Vol. 15 (7), P. e4865, DOI: 10.1002/ecs2.4865
- Polynov B. B., *Izbrannye trudy* (Selected Works), Moscow, 1956, 751 p.
- Puly i potoki ugleroda v nazemnykh ekosistemakh Rossii* (Carbon pools and fluxes in terrestrial ecosystems of Russia), G. A. Zavarzin (Ed.), Moscow: Nauka, 2007, 315 p.
- Ramochnaya konventsia Organizatsii Obedinnennykh Natsii ob izmenenii klimata* (United Nations Framework Convention on Climate Change), available at: <https://base.garant.ru/2133066/> (2026, 17 May).
- Rantanen M., Karpechko A. Y., Lipponen A., Nordling K., Hyvärinen O., Ruosteenoja K., Vihma T., Laaksonen A., The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979, *Communications Earth & Environment*, 2022, Vol. 3, Article ID: 168, DOI: 10.1038/s43247-022-00498-3
- Roslesinforg, "Roslesinforg ko Dnyu Arktiki pereschital lesa v Arkticheskoi zone Rossii" (Roslesinforg recalculated forests in the Russian Arctic zone for Arctic Day), 28.02.2023, available at: <https://clck.su/fBdEy> (2026, 18 May).
- Rusin L. P., Saveleva L. I., *Elovye lesa Rossii* (Spruce forests of Russia), Moscow: Nauka, 2002, 335 p.
- Ryabov N. S., Isaeva L. G., Sravnenie otsenki fitomassy drevostoya s primeneniem modelei na primere elovykh fitotsenozov Murmanskoi oblasti (Comparison of model-based forest stand biomass estimation: the case of spruce phytocoenoses in the Murmansk region), *Voprosy lesnoi nauki*, 2026, Vol. 9, No 1, Article 187, pp. 1–32, DOI: 10.31509/2658-607x-202691-187
- Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S., Karminov V., Ontikov P., ... & Kraxner F., Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported, *Scientific Reports*, 2021, Vol. 11, P. 12825, DOI: 10.1038/s41598-021-92152-9
- Screen J. A., Audette A., Blackport R., Deser C., England M., ... & Yu H., Causes and con-

- sequences of Arctic amplification elucidated by coordinated multimodel experiments, *Communications Earth & Environment*, 2026, Vol. 7, No 1, P. 23, DOI: 10.1038/s43247-025-03052-z
- Sergeeva O. V., Mukhortova L. V., Krivobokov L. V., Raspredelenie zapasov podstilki i biomassy zhivogo nepochvennogo pokrova v severnoi taige Tsentralnoi Evenkii v zavisimosti ot rel'efa (Distribution of litter stocks and living ground-cover biomass in the northern taiga of Central Evenkia depending on relief), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2020, No 1, pp. 36–46, DOI: 10.15372/SJFS20200104.
- Shcherbakov N. M., Zaitseva N. L., Biometricheskaya kharakteristika spelykh elnikov yuga Karelii (Biometric characteristics of mature spruce forests in southern Karelia), In: *Lesnye rastitelnye resursy yuzhnoi Karelii* (Forest plant resources of southern Karelia), Petrozavodsk, 1971, pp. 22–40.
- Shevchenko N. E., Braslavskaya T. Yu., Doroshina G. Ya., Vosstanovlenie khvoino-shirokolistvennykh lesov Severo-Zapadnogo Kavkaza posle rubok v raznykh pozitsiyakh mezorelefa (Recovery of coniferous–broad-leaved forests of the Northwestern Caucasus after logging in different mesorelief positions), *Rastitelnost' Rossii*, 2025, No 52, pp. 119–154, DOI: 10.31111/vegrus/2025.52.119
- Shmakova N. Yu., Ermolaeva O. V., Kopeina E. I., Litvinova T. I., Poloshevets T. V., Davydov D. A., Phytomass and organic carbon stocks in the mountain tundra communities of the Khibiny Mountains, Murmansk Region, Russia, *Czech Polar Reports*, 2026, Vol. 15, No 2, pp. 258–284, DOI: 10.5817/CPR2025-2-16
- Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Uglerodnyi byudzhets lesov Rossii (Carbon budget of Russian forests), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2014, No 1, pp. 69–92.
- Shvidenko A., Ciais P., Patra P. K., Bastos A., Maksyutov S., ... & Schepaschenko D., A System Reanalysis of the Current Greenhouse Gases Budget of Terrestrial Ecosystems in Russia, *Global Biogeochemical Cycles*, 2025, Vol. 39, No 10, P. e2025GB008540. DOI: 10.1029/2025GB008540
- Smith D. C. L., Eissenstat D., Kaye M., Variability in aboveground carbon driven by slope aspect and curvature in an eastern deciduous forest, USA, *Canadian Journal of Forest Research*, 2016, Vol. 47, pp. 149–158. DOI: 10.1139/cjfr-2016-0147

- Sokhranenie tsennykh prirodnikh territorii Severo-Zapada Rossii. Analiz reprezentativnosti seti OOPT Arkhangel'skoi, Vologodskoi, Leningradskoi i Murmanskoi oblastei, Respubliki Kareliya, Sankt-Peterburga* (Conservation of valuable natural areas of Northwestern Russia. Analysis of representativeness of the protected-area network of Arkhangelsk, Vologda, Leningrad and Murmansk Regions, the Republic of Karelia, and Saint Petersburg), K. N. Kobayakov (Ed.), Saint Petersburg, 2011, 506 p.
- Stolbovoi V. S., Nilson S., Shvidenko A. Z., McCallum I., Opyt agregirovannoi otsenki osnovnykh pokazatelei bioproduktsionnogo protsessa i uglerodnogo balansa nazemnykh ekosistem Rossii. Chast 3. Biogekhimicheskie potoki ugleroda (An aggregated assessment of key indicators of the bioproduktive process and carbon balance of terrestrial ecosystems of Russia. Part 3. Biogeochemical carbon fluxes), *Ekologiya*, 2004, No 3, pp. 179–184.
- Storozhenko V.G., Glukhova T.V., Structural features of pine catena stands: from forest to oligotrophic bog, *Forest Science*, 2023, No 6, pp. 577–586. DOI: 10.31857/S0024114823060098
- Strakhov V. V., Pisarenko A. I., Borisov V. A., *Globalizatsiya lesnogo khozyaistva* (Globalization of forestry), Moscow: VNIITSlesresurs, 2001, 400 p.
- Strand E. K., Vierling L. A., Smith A. M. S., Bunting S. C., Net changes in above-ground woody carbon stock in western juniper woodlands, 1946–1998, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2008, Vol. 113, G01013. DOI:10.1029/2007JG000544
- Sukhareva T. A., Ivanova E. A., Ershov V. V., Zenkova I. V., Korneikova M. A., Shtabrovskaya I. M., Soshina A. S., Soderzhanie i zapasy ugleroda i azota v nazemnykh ekosistemakh Murmanskoi oblasti (Content and stocks of carbon and nitrogen in terrestrial ecosystems of Murmansk Region), *Voprosy lesnoi nauki*, 2023, Vol. 6, No 2, pp. 1–75, DOI: 10.31509/265-607x-202362-125
- Tang J., Miller P. A., Persson A., Olefeldt D., Pilesjö P., ... & Christensen T. R., Carbon budget estimation of a subarctic catchment using a dynamic ecosystem model at high spatial resolution, *Biogeosciences*, 2015, Vol. 12, pp. 2791–2808, DOI: 10.5194/bg-12-2791-2015
- Thurner M., Beer C., Santoro M., Carvalhais N., Wutzler T., ... & Schimmlus C., Carbon stock and density of boreal and

- temperate forests, *Global Ecology and Biogeography*, 2014, Vol. 23, pp. 297–310, DOI: 10.1111/geb.12125
- Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Glazov P. M., Krenke A. N., Puzachenko A. Yu., Tertitskii G. M., Titova S. V., Tundra i les rossiiskoi Arktiki: vektor vzaimodeistviya v usloviyakh sovremennogo potepleniya klimata (Tundra and forest of the Russian Arctic: vector of interaction under modern climate warming), *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2020, No 3(39), pp. 48–61, DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-48-61
- Tishkov A. A., Krenke A. N., Titova S. V., Belonovskaya E. A., Tsarevskaya N. G., Izmeneniya nadzemnoi fitomassy ekosistem Severnoi Evrazii v XXI veke (Changes in aboveground phytomass of Northern Eurasian ecosystems in the 21st century), *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o Zemle*, 2021, Vol. 497, No 2, pp. 193–198, DOI: 10.31857/S2686739721040162
- Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* (Third assessment report on climate change and its consequences in the Russian Federation), Roshydromet, Saint Petersburg: Nauchno-tekhnologicheskii, 2022, 676 p.
- Tsvetkov V. F., Semenov B. A., *Sosnyaki Krainego Severa* (Pine forests of the Far North), Moscow, 1985, 116 p.
- Tsvetkov V. F., *Sosnyaki Kolskoi lesorastitelnoi oblasti i vedenie khozyaistva v nikh* (Pine forests of the Kola forest-growing region and their management), Arkhangelsk, 2002, 380 p.
- Tsvetkov V. F., Tsvetkov I. V., K probleme usykhaniya elovykh lesov v Arkhangel'skoi oblasti (On the problem of spruce forest decline in Arkhangelsk Region), In: *Usykhayushchie elniki Arkhangel'skoi oblasti, problemy i puti ikh resheniya* (The drying spruce forests of the Arkhangelsk region: problems and solutions), Arkhangelsk, 2007, pp. 20–30.
- Ushakova G. I., Shmakova N. Yu., Koroleva N. E., Vliyanie vidovogo sostava i struktury fitomassy rastitelnykh soobshchestv na nakoplenie ugleroda v gornykh i predgornnykh biogeotsenozakh Khibin (Murmansk Region) (Influence of species composition and phytomass structure of plant communities on carbon accumulation in mountain and foothill biogeocenoses of the Khibiny Mountains, Murmansk Region), *Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel biologicheskii*, 2004, Vol. 109, No 2, pp. 57–65.

- Usoltsev V. A., *Fitomassa lesov Severnoi Evrazii: Baza dannykh i geografiya* (Forest phytomass of Northern Eurasia: database and geography), S. G. Shiya-tov (Ed.), Ekaterinburg: UrO RAN, 2001, 708 p.
- Usoltsev V. A., *Fitomassa i pervichnaya produktivnost' lesov Evrazii* (Phytomass and primary productivity of Eurasian forests), Ekaterinburg: UrO RAN, 2010, 569 p.
- Usol'tsev V. A., Biologicheskaya produktivnost' lesoobrazuyushchih porod v klimaticheskikh gradientah Evrazii (k menedzhmentu biosfernykh funktsij lesov) (Biological productivity of forest-forming species in the climatic gradients of Eurasia (towards the management of biosphere functions of forests)), Ekaterinburg, 2016, 384 p.
- Utkin A. I., Uglerodnyi tsikl i lesovodstvo (Carbon cycle and silviculture), *Lesovedenie*, 1995, No 5, pp. 3–20.
- Vakurov A. D., Polyakova A. F., Krugovorot azota i mineralnykh elementov v nizkoproduktivnykh elnikakh severnoi taigi (Cycling of nitrogen and mineral elements in low-productive spruce forests of the northern taiga), In: *Krugovorot khimicheskikh veshchestv v lesu* (Chemical cycling in the forest), Moscow: Nauka, 1982, pp. 20–33.
- Vedernikov K. E., *Vliyanie abioticheskikh i bioticheskikh faktorov na elovye fitotsenozy i nauchnoe obosnovanie podkhodov k upravleniyu ikh ustoychivostyu* (Influence of abiotic and biotic factors on spruce phytocenoses and scientific substantiation of approaches to managing their stability), Doctor's thesis in biological sciences, Izhevsk, 2026, 368 p.
- Vos'moe natsionalnoe soobshchenie Rossiiskoi Federatsii, predstavlennoe v sootvetstvii so statyami 4 i 12 Ramochnoi Konventsii Organizatsii Obedinennykh Natsii ob izmenenii klimata i statei 7 Kiotskogo protokola* (Eighth National Communication of the Russian Federation submitted under Articles 4 and 12 of the United Nations Framework Convention on Climate Change and Article 7 of the Kyoto Protocol), Moscow, 2022, available at: <https://clck.su/KfnIn> (2026, 18 May).
- Zaboeva I. V., Rusanova G. V., Sloboda A. V., Bioproduktivnost' elnikov-zelenomoshnikov srednei i severnoi taigi Komi ASSR (Bioproductivity of green-moss spruce forests of the middle and northern taiga of the Komi ASSR), *Rastitel'nye resursy*, 1973, Vol. IX, Is. 1, pp. 100–106.
- Zaitseva I. V., Kobayakov K. N., Nikonov V. V.,

Smirnov D. Yu., Lukina N. V., Korennye starovozrastnye lesa Murmanskoi oblasti (Primary old-growth forests of Murmansk Region), *Lesovedenie*, 2002, No 2, pp. 15–23.

Zhivov D. A., Sukhareva T. A., Zapasy azota i ugleroda v pochvakh elovykh

lesov Murmanskoi oblasti (Nitrogen and carbon stocks in soils of spruce forests of Murmansk Region), *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2025, No 4(72), pp. 84–100, DOI: 10.36906/2311-4444/25-4/07.

PHYTOMASS AND CARBON POOLS OF SPRUCE PHYTOCENOSIS IN RUSSIA AND EUROPEAN COUNTRIES

N. S. Ryabov

*Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC RAS
Akademgorodok, 14A, Apatity 184209, Russian Federation*

E-mail: n.ryabov@ksc.ru

Received 23.05.2026

Revised: 18.06.2026

Accepted: 22.06.2026

Global climate change, directly linked to continuously rising concentrations of greenhouse gases, necessitates the refinement and updating of our understanding of the climate-regulating role of forest ecosystems. Phytomass – including standing trees, undergrowth and understory, and forest floor vegetation – plays an important role in the global carbon cycle through its capacity to absorb atmospheric carbon and provide long-term carbon storage. This article provides a review of available data on phytomass and phytomass carbon stocks in spruce forests of Russia and several European countries. Using the Murmansk region as a case study, we examine the key characteristics and critical factors influencing the spatial distribution and formation of phytomass carbon pools. We further articulate the rationale for comprehensive research on the productivity and carbon allocation within the main phytomass pools of spruce phytocenoses.

Keywords: carbon stocks, biomass, forest phytocenoses, spruce forests, northern taiga, Murmansk region, Arctic

Рецензент: К. Б. Н., С. Н. С., Честных О. В.