

Научная статья
УДК 630.162.5:630.9
EDN GBOEJC
DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.1.03

Запасы углерода в фитомассе лесов России: новая количественная оценка на основе данных первого цикла государственной инвентаризации лесов*

Андрей Николаевич Филипчук¹
доктор сельскохозяйственных наук

Наталья Викторовна Малышева²
кандидат географических наук

Татьяна Анатольевна Золина³

Александр Алхасович Селезнев⁴

Аннотация. На основе результатов измерений на постоянных пробных площадях первого цикла государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) выполнена количественная оценка запасов углерода в фитомассе лесов России. Общий запас углерода в надземной и подземной фитомассе по состоянию на 2020 г. рассчитан в размере $46,9 \pm 0,4 \times 10^9$ тС при среднем значении $52,1 \pm 0,5$ тС га⁻¹. Общий запас древесины в лесах, по данным ГИЛ, составил $113,1 \times 10^9$ м³. Согласно данным государственного лесного реестра (ГЛР), являющегося основным источником сводной информации о лесах России, запас древесины достигает $83,1 \times 10^9$ м³. В связи с уточненным и значительно большим по сравнению с ГЛР общим запасом древесины, оценка запасов углерода в фитомассе оказалась примерно на 35 % выше, чем сообщалось ранее. Неопределенность суммарных и средних запасов углерода по данным ГИЛ (примерно ± 1 %) оказалась существенно ниже, чем в предыдущих исследованиях (± 15 – 30 %). Рассмотрены метод учета запасов углерода в фитомассе и результаты расчетов запасов углерода для лесных земель всей страны с распределением по единицам административного деления и лесного районирования. Полученная оценка запасов углерода на основе репрезентативной выборки может существенно повысить актуальность и достоверность национальной отчетности по лесам.

Ключевые слова: леса России, фитомасса, запас углерода, инвентаризация лесов, постоянные пробные площади

Для цитирования: Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Селезнев А.А. Запасы углерода в фитомассе лесов России: новая количественная оценка на основе данных первого цикла государственной инвентаризации лесов. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2024. № 1. С. 29–55. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.1.03. <https://elibrary.ru/gboejc>.

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, главный научный сотрудник (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), afilipchuk@yandex.ru

² Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, зам. заведующего отделом (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), nat-malysheva@yandex.ru

³ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, ведущий инженер (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), tzolina@gmail.com

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, студент (Москва, Российская Федерация), asa250404@gmail.com

Original article

EDN GBOEJC

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.1.03

Carbon Stock in Living Biomass of Russian Forests: New Quantification Based on Data from the First Cycle of the State Forest Inventory

Andrey N. Filipchuk¹*Doctor of Agricultural Sciences***Nataliya V. Malysheva²***Candidate of Geographical Sciences***Tatiana A. Zolina³****Aleksandr A. Seleznev⁴**

Abstract. The carbon stock in living forest biomass was quantified based on first-cycle State Forest Inventory (SFI) measurements in permanent sample plots. The total carbon stock in above- and below-ground living biomass was assessed to be $46.9 \pm 0.4 \times 10^9$ tons C and average carbon stock at 52.1 ± 0.5 t C ha⁻¹ as of 2020. The State Forest Register (SFR), the primary source of consolidated information on Russia's forests, estimates the forest growing stock to be 83.1×10^9 m³. The total growing stock volume in the forests, according to the SFI amounted to 113.1×10^9 m³. Owing to the updated and significantly higher growing stock volume, the estimate of carbon stock in living biomass is approximately 35 % higher than previously reported. The uncertainty of the total and average carbon stocks based on SFI data was substantially lower (approximately 1 %) than that reported in previous studies (15–30 %). Methods of accounting for the carbon stock in living biomass, the results of calculations for forest lands throughout the country, units of the administrative division, and forest zoning were considered. Assessment of living biomass based on representative sampling can substantially improve the relevance and reliability of national forest reporting.

Key words: Russian forests; living biomass; carbon stock; forest inventory; permanent sample plots

For citation: Filipchuk A., Malysheva N., Zolina T., Seleznev A. Carbon Stock in Living Biomass of Russian Forests: New Quantification Based on Data from the First Cycle of the State Forest Inventory. – Text: electronic // Forestry Information. 2024. № 1. P. 29–55. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.1.03. <https://elibrary.ru/gboejc>.

¹ Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Principal Scientist (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), afilipchuk@yandex.ru

² Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Deputy Head of Department (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), nat-malysheva@yandex.ru

³ Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Leading Engineer (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), tzolina@gmail.com

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Student (Moscow, Russian Federation), asa250404@gmail.com

Введение

Сохранение лесов и других наземных экосистем как основных резервуаров и регуляторов круговорота углерода признано одним из приоритетов глобальной климатической политики. Об этом свидетельствует Декларация по лесам и землепользованию, подписанная лидерами 141 страны на Конференции ООН по изменению климата в Глазго 12 ноября 2021 г. [1]. Оценка потенциала лесов по смягчению последствий изменения климата, как и оценка экосистемных лесных услуг, является популярным направлением научных исследований [2–5]. Количественная оценка биомассы лесных экосистем, а также накопленных биомассой запасов углерода – предмет исследований многочисленных научных коллективов по всему миру. Широкомасштабные глобальные и региональные исследования проведены с использованием данных дистанционного зондирования Земли [6–15]. Тем не менее одних только данных дистанционного зондирования без наземных исследований недостаточно для определения количества лесной биомассы, ее распределения и оценки достоверности результатов. Пространственное распределение лесной биомассы, полученное путем комбинирования данных многочисленных спутниковых наблюдений, требует валидации по наземным данным, в частности, инвентаризации лесов, для оценки неопределенности [10, 11]. В России многолетние и успешные исследования по оценке биомассы лесов и запасов углерода в ней были проведены учеными Института леса им. В.Н. Сукачева РАН [16], Уральского государственного лесотехнического университета совместно с Уральским отделением РАН [17, 18], Международного института прикладного системного анализа (IIASA) [19, 20] и Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН [21].

Количественная оценка запасов лесной биомассы и углерода в биомассе необходима для подготовки национальной отчетности в рамках международных процессов по лесам, в которых участвует Российская Федерация, а именно: для Глобальной оценки лесных ресурсов ФАО,

Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Стратегического плана ООН по лесам на 2017–2030 гг., Конвенции ООН о биологическом разнообразии и др. Национальная отчетность по сектору землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) в рамках выполнения обязательств по РКИК ООН содержит информацию о ежегодном поглощении/эmissions углерода, которая характеризует лесные экосистемы как сток или источник углерода. В этом контексте запас углерода в фитомассе служит отправной точкой для последующих оценок поглощения и эмиссий.

До настоящего времени национальная отчетность Российской Федерации РКИК ООН по сектору ЗИЗЛХ была основана на данных государственного учета лесного фонда (ГУЛФ) до 2007 г. и государственного лесного реестра (ГЛР) после 2007 г. ГЛР, как и его предшественник ГУЛФ, представляет собой сводную статистическую информацию о лесах России, собранную первоначально в полевых условиях на поведельном уровне. Международный опыт показывает, что наиболее точные национальные оценки можно получить на основе наземных измерений деревьев и других компонентов лесных экосистем на пробных площадях. Такие измерения являются неотъемлемой частью национальной инвентаризации лесов (НИЛ). В ряде стран мира с лесами бореальной и умеренной зон уже проведено несколько циклов НИЛ. Например, в Финляндии завершено 12 циклов [22–24], в Норвегии – 10 [25], Швеции – 19 [26], в Чехии [27] и Германии [28] – по 3.

В России ГИЛ является принципиально новой системой учета лесов, первый цикл которой завершен в 2020 г. Результаты измерений ГИЛ опубликованы лишь фрагментарно, и совокупные качественные и количественные характеристики лесов страны и их региональное распределение до сих пор не в полной мере представлены экспертному научному сообществу. Согласно первым публикациям результатов ГИЛ, общий запас древесины в лесах Российской Федерации составил $113,1 \times 10^9$ м³. Фактическая погрешность оценки общего запаса $\pm 0,35$ % при доверительной вероятности 95 %, что значительно ниже запланированной

погрешности $\pm 1\%$ [29]. Средний запас древесины в лесах страны оценен в размере $126 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$.

По данным ГИЛ, общая площадь лесных земель в Российской Федерации – 899,9 млн га. Для сравнения: в национальном отчете Российской Федерации для последней завершенной Глобальной оценки лесных ресурсов ФАО, подготовленном на основе статистической информации ГЛР, общий запас древостоя на аналогичной площади составлял $83,1 \times 10^9 \text{ м}^3$, а средний запас древесины по стране – $104 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ [30]. Таким образом, общий запас древостоев в лесах России, рассчитанный по данным ГИЛ, превышает показатель, определенный по данным ГЛР, более чем на 35 %. Такое значительное расхождение в оценке запасов может быть связано с различиями в точности используемых методов учета лесов. Исходные данные для ГЛР были получены по результатам лесоустройства на повыдельном уровне. Запас древостоя определен с допустимыми стандартными отклонениями от ± 15 до $\pm 30\%$, а систематические ошибки не превышали $\pm 10\%$ [31]. Инструментальные измерения деревьев на пробных площадях ГИЛ по сравнению с глазомерным определением параметров древостоя при проведении лесоустроительных работ позволили получить более объективную оценку запасов древостоя и с большей точностью. Аналогичный эффект наблюдался при переходе от методов оценки параметров на уровне древостоя при лесоустройстве к измерениям отдельных деревьев на пробных площадях в первом цикле НИЛ в Чехии. Разница в общих запасах древостоев, полученных после перехода на выборочно-статистический метод инвентаризации лесов, составила +38,5 % при погрешности $\pm 1\%$ [32].

Результаты первого цикла ГИЛ еще предстоит аналитически осмыслить. Одним из практических применений этого большого массива данных является использование ГИЛ для оценки запасов биомассы и углерода, накопленного лесной биомассой, с целью улучшения национальной отчетности по климатическому и другим международным соглашениям. Переход от данных ГЛР к данным ГИЛ предполагает переход от оценки лесов на уровне древостоя к оценке статистически достоверных характеристик леса

по результатам измерений каждого дерева на уровне постоянной пробной площади. Это качественно новый подход к учету лесов в России, который влечет за собой обновление источников информации, в том числе для подготовки национальной отчетности, и совершенствование методов ее обработки.

Данная статья посвящена оценке запасов углерода в фитомассе российских лесов по состоянию на 2020 г. в соответствии с рекомендациями Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и использованию данных ГИЛ для совершенствования национальной отчетности по лесам. Ранее на примере двух тестовых объектов – лесного района хвойно-широколиственных лесов Европейско-Уральской части России и Республики Карелии – была показана возможность применения данных ГИЛ для улучшения оценок запасов углерода в лесах при подготовке национальной отчетности [33]. В данной работе представлены результаты новой оценки запасов углерода в фитомассе лесов России в целом, а также по единицам административного деления и лесного районирования по состоянию на 2020 г.

Материалы и методы исследования

Признавая, что оценки параметров углерода в лесах на региональном и национальном уровнях все еще выполняются со значительной неопределенностью, МГЭИК поддерживает совершенствование методов и проведение пересчетов углеродных параметров по мере появления новых источников данных [34]. В проведенном исследовании исходными параметрами для оценки фитомассы лесов и запасов углерода в фитомассе были площади лесных земель с распределением по древесным породам, запасам древостоев и их возрастной структуре.

Исходные данные

Объект исследования – лесные земли всей страны с подразделением по административным

единицам и единицам лесного районирования. По данным ГИЛ, общая площадь лесных земель в Российской Федерации составляет 899,9 млн га, причем на более 90 % этой площади произрастают бореальные леса. Необходимо заметить, что, согласно методике ГИЛ, площадь лесных земель определена по цифровой картографической основе, содержащей в том числе сеть выделов лесоустройства, обновленных по ортотрансформированным космическим снимкам. Основными лесообразующими породами в лесах России, по данным ГИЛ, являются лиственница (*Larix*), береза (*Betula*), сосна (*Pinus*), ель (*Picea*), пихта (*Abies*), сосна сибирская (*Pinus sibirica*), осина (*Populus tremula*), дуб (*Quercus*) и др. Среди лесообразующих пород первое место по площади занимает лиственница, второе – береза, третье – сосна [29].

В проведенном исследовании исходные данные были получены путем обработки результатов измерений отдельных деревьев на постоянных пробных площадях (ППП). За 14-летний период (с 2007 по 2020 г.) по всей стране было заложено 69 100 ППП с координатной привязкой. Количество ежегодно обследованных ППП варьировало от 4 тыс. до 5 тыс. и более. Пробные площади ГИЛ располагались на всех категориях лесных земель, предусмотренных нормами земельного законодательства, включая земли лесного фонда; земли промышленности, транспорта, обороны, безопасности и иного специального назначения; земли особо охраняемых территорий и объектов; земли населенных пунктов. Пробные площади на нелесных землях не закладывали. Информация о характеристиках нелесных земель и их пространственном распределении получена по данным ГЛР, материалам лесоустройства и данным дистанционного зондирования.

В первом цикле ГИЛ для расчета объема выборки пробных площадей и подготовки проекта их размещения использована двухуровневая стратификация [35]. Первый уровень стратификации основан на разделении территории страны на лесорастительные зоны и лесные районы с разными лесорастительными условиями

и продуктивностью лесов. Единицы лесного районирования соответствуют нормативным документам лесного хозяйства. На территории России, согласно нормативным документам, выделено 8 лесорастительных зон и 42 лесных района. Целевая погрешность определения запасов древесины по лесным районам варьировала от ± 1 до ± 10 %. Страты второго уровня в границах лесных районов представляют собой, по сути, подвыборку относительно однородных участков со схожими лесотаксационными характеристиками. На практике лесные страты сформированы из совокупности выделов лесоустройства, сгруппированных исходя из общности следующих лесотаксационных характеристик: преобладающая порода, группа возраста и класс бонитета лесного насаждения. Границы выделов, агрегированных в страты, актуализированы по данным дистанционного зондирования. Для уточнения границ лесных земель, временно утративших лесной покров, и выделения участков, занятых группами древесных пород, использовали ортотрансформированные космические снимки. Всего было сформировано 49 страт, в том числе отдельная страта для лесных земель, временно не занятых лесными насаждениями – несомкнувшиеся лесные культуры, возобновляющиеся вырубки, гари и пройденные огнем участки, погибшие древо-стои и естественные редины. Расчет необходимого количества ППП проводили по статистической формуле, включающей следующие переменные: средний запас древостоя по страте, дисперсию запаса в страте и целевую погрешность оценки запаса древостоя при установленном уровне доверительной вероятности.

Размер генеральной совокупности был рассчитан таким образом, чтобы требуемая погрешность определения общего запаса древесины по стране составляла ± 1 % при 95 %-й доверительной вероятности. Фактическая погрешность определения общего запаса составила $\pm 0,35$ % при 95 %-й доверительной вероятности, т. е. оказалась выше запланированной. В первом цикле ГИЛ для размещения ППП в границах лесного района использована простая случайная стратифицированная выборка. Из практических

соображений в отдаленных и труднодоступных регионах пробные площади были объединены в кластеры. Каждый кластер включал от 5 до 8 ППП. Плотность пробных площадей первого цикла ГИЛ по лесным районам представлена на рис. 1.

Все заложенные пробные площади ГИЛ – постоянные. Пробная площадь (0,05 га) состоит из трех концентрических окружностей с фиксированными радиусами. В пределах круга радиусом 12,62 м (площадь 0,05 га) измеряли все деревья с диаметром на высоте 1,3 м \geq 20 см. Деревья диаметром более 12 см измеряли в круге радиусом 5,64 м (площадь 0,01 га), а деревья диаметром более или равным 6 см – в круге радиусом 2,82 м (площадь 0,0025 га). Для описания подроста и подлеска использовали две дополнительные круговые площадки радиусом 1,78 м, расположенные в 5,64 м от центра ППП в направлении с севера на юг. Растительность живого напочвенного покрова исследовали на трансекте длиной 10 м и шириной 1 м, проходящей через центр площадки с запада на восток. Учет валежной древесины проводили на

всей пробной площади. Конфигурация пробных площадей ГИЛ схожа с конфигурацией пробных площадей, используемых в национальных инвентаризациях лесов бореальной и умеренной зон, с отличием пороговых значений диаметра деревьев на высоте 1,3 м, учитываемых на круговых площадках [35–37]. Сходство между ГИЛ и НИЛ Чехии и Словакии объясняется тем, что чешские специалисты принимали активное участие в разработке методологии ГИЛ на начальном этапе. Кроме того, в ходе первого цикла ГИЛ для сбора данных в полевых условиях и последующей их обработки использовали комплексную программно-аппаратную технологию Field-Map чешской компании IFER Ltd. [38]. Модифицированная русская версия получила название Программно-информационный комплекс (ПИК) ГИЛ. Всего для каждой ППП было измерено и оценено 117 показателей [39]. В данном исследовании мы использовали измеренные на ППП показатели, характеризующие деревья и кустарники, без учета подроста, подлеска, живого напочвенного покрова, сухостоя и валежника.



Рис. 1. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ПЕРВОГО ЦИКЛА ГИЛ В ГРАНИЦАХ ЛЕСНЫХ РАЙОНОВ. ГРАНИЦЫ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЕДИНИЦ ПОКАЗАНЫ В СООТВЕТСТВИИ С РОССИЙСКИМ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВОМ НА ГОД ЗАВЕРШЕНИЯ ПЕРВОГО ЦИКЛА ГИЛ – 2020 Г.

Методы исследования

Фитомассу непосредственно в полевых условиях не измеряли, но ее оценку можно получить косвенным методом исходя из запаса стволовой древесины. В этом случае для оценки фитомассы и запаса углерода в ней наиболее значимыми показателями, полученными в результате обработки полевых измерений, являются запасы древостоя по породам и возраст деревьев. Запас древостоя рассчитан в ПИК ГИЛ в полевых условиях на основе объемов стволов измеренных деревьев. Предикторами для расчета объема ствола дерева на пробной площади служили порода дерева, диаметр на высоте 1,3 м, высота, высота кроны дерева или диаметр на 1/3 высоты дерева.

В общем случае запас углерода в фитомассе увеличивается с возрастом лесных насаждений [40]. Заметим, что согласно данным ГИЛ, 31 % общего запаса древесины приходится на насаждения старше 120 лет (спелые и перестойные леса) [29]. В нашей методике запас по древесным породам дифференцирован по четырем группам возраста: 1) молодняки, 2) средневозрастные, 3) приспевающие и 4) спелые и перестойные. Перераспределение запасов древесных пород определенного возраста по группам возраста – непростая задача. Нормативные документы, регулирующие использование лесов в России, предусматривают разделение древесных пород на определенные возрастные группы в зависимости от возраста спелости. В целом возраст спелости древесных пород варьирует в зависимости от лесорастительных условий, дифференциация которых отражена в лесном районировании. На практике в нормативных документах лесного хозяйства возраст спелости древесных пород установлен по регионам в зависимости не только от лесорастительных условий, но и от деления лесов по целевому назначению на защитные, эксплуатационные и резервные. К последней категории относятся лесные участки, на которых в ближайшие 20 лет не планируется заготовка деловой древесины. Для переклассификации запасов древесных пород определенного возраста по возрастным группам был составлен специальный справочник, в котором эти запасы

соотнесены с возрастными группами в зависимости от целевого назначения лесов и принадлежности к определенному таксону лесорастительного районирования. Измерения на пробных площадях ГИЛ проводили с 2007 по 2020 г. – в течение 14 лет. Для корректировки величин запасов по породам и группам возраста, полученных в разные годы, на 2020 г. использовали таблицы и модели хода роста. А.З. Швиденко с соавторами [41] разработали таблицы и модели хода роста и продуктивности основных лесобразующих пород, рекомендованные для использования в лесном хозяйстве и лесоустройстве России. Оценка ежегодных потерь товарных запасов от заготовки древесины и других факторов основана на данных ежегодной статистической отчетности по лесному хозяйству. Для актуализации запасов древесины по состоянию на 2020 г. исходные разновременные данные ГИЛ были пересчитаны.

В данном исследовании запас углерода в фитомассе определяли путем внесения изменений в базовое уравнение 2.8b МГЭИК [42] следующим образом:

$$C = \sum_k \sum_{ij} \{A_{ij} \times V_{ij} \times BCEF_{sij} \times (1 + R_{ij}) \times CF\}, \quad (1)$$

где:

C – общее количество углерода в надземной и подземной фитомассе по единицам административного деления, т;

k – лесной район (домен, $k =$ от 1 до 42);

i – древесная порода ($i =$ от 1 до n);

j – группа возраста ($j = 1 - 4$);

A_{ij} – площадь лесных земель по породам и группам возраста, га;

V_{ij} – средний запас товарной древесины по породам и группам возраста, $m^3 \text{ га}^{-1}$;

$BCEF_{sij}$ – коэффициент преобразования и разрастания биомассы древостоев, преобразующий товарный объемный запас древостоев в надземную фитомассу деревьев по породам и возрастным группам, т сухого вещества (с.в.) m^{-3} ;

R_{ij} – отношение подземной фитомассы к надземной по породам и возрастным группам, безразмерная величина;

CF – доля углерода в сухом веществе (для хвойных пород = 0,5, для лиственных = 0,47), т С (т с.в.) $^{-1}$.

Согласно руководящим принципам МГЭИК [34, 42, 43], запас древостоя пересчитывается в надземную фитомассу (включая стволы, ветви и листву/хвою) с использованием таких конверсионных коэффициентов, как коэффициент разрастания биомассы (BEF) или коэффициент преобразования и разрастания биомассы (BCEF), учитывающий плотность древесины. Следует отметить, что в руководстве приведены значения конверсионных коэффициентов (BEF), которые могут быть приняты по умолчанию [34, табл. 4.5]. Однако, как показали исследования [44], коэффициенты пересчета, полученные на основе выборочных измерений срубленных модельных деревьев, существенно варьируют по разным причинам, таким как произрастающие древесные породы, возраст, особенности условий местопроизрастания и доступный объем выборки модельных деревьев. По разным оценкам, стандартная ошибка среднего значения коэффициента преобразования и разрастания биомассы, используемого для пересчета запаса деловой древесины в надземную фитомассу, может достигать в зависимости от породы дерева от ± 5 до ± 20 %, а для некоторых фракций дерева (например, листвев) – до ± 40 % [45]. Это влияет на итоговую ошибку оценки общей фитомассы лесов в национальной отчетности.

В наших расчетах для перевода запаса древостоя в надземную фитомассу использован набор коэффициентов, дифференцированных по породам и группам возраста для различных единиц лесного районирования, соответствующих действующей нормативной базе российского лесного хозяйства. Перед проведением количественных оценок запасов углерода в пулах фитомассы было протестировано несколько наборов конверсионных коэффициентов. На основе анализа коэффициентов, рассчитанных разными научными группами, предпочтение было отдано наиболее научно обоснованному варианту, предложенному ИААА [46]. Исследователи ИААА разработали и статистически обосновали набор конверсионных коэффициентов для основных лесообразующих пород России (BCEF), представляющих собой отношение массы

отдельных фракций живой биомассы (стволов деревьев, ветвей и листвы/хвои) к объемным запасам древостоя (т с.в. м³). Суммарная относительная погрешность BCEF для живой биомассы оценена в $\pm 0,6$ % [46]. В нашем исследовании указанный набор коэффициентов был 1) адаптирован к современному лесорастительному районированию, предусмотренному нормативными документами российского лесного хозяйства, и 2) включен в алгоритм расчета с использованием уравнения (1). Коэффициент отношения надземной фитомассы к подземной (R) в уравнении (1) также дифференцирован по древесным породам, произрастающим в разных лесорастительных условиях и относящимся к разным единицам лесного районирования. Совмещение исходных данных ГИЛ с коэффициентами пересчета по единицам лесного районирования (лесным районам) выполнено с помощью инструментария ГИС [47]. Описанный алгоритм реализован и использован для расчетов запасов углерода в фитомассе. Неопределенность оценена с помощью стандартной ошибки (SE). Стандартная ошибка рассчитана следующим образом:

$$S_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где:

$S_{\bar{x}}$ – стандартная ошибка среднего значения переменной x , в нашем случае – общего запаса древесины на 1 га;

n – объем выборки (количество ППП);

s – стандартное отклонение переменной x .

Итоговая неопределенность запасов углерода в фитомассе лесов получена как сумма неопределенности оценки запаса древесины и неопределенности коэффициента BCEF.

Из четырех широко используемых методов оценки запасов углерода на основе данных инвентаризации лесов [48], предлагаемый подход можно отнести к комбинации методов, основанных на учете запасов древесины и конверсионных коэффициентов преобразования объемного запаса в биомассу.

Результаты

Вариативность запасов углерода в фитомассе отражает изменчивость запасов древесины, которые тесно связаны с различиями климатических условий и продуктивности лесов. В пространственном распределении и изменчивости продуктивности лесов России четко прослеживаются зональные и региональные закономерности. В целом распределение среднего запаса древесины соответствует широтным закономерностям и региональным особенностям произрастания древесной растительности и коррелируется с лесорастительным районированием (рис. 2). Заметим, что расчетные величины среднего запаса древесины и среднего запаса углерода в фитомассе приведены на единицу площади лесных земель. По данным ГИЛ, максимальные продуктивность

и средний запас древесины (более $240 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$) приурочены к зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов и горным лесам Северного Кавказа. Средний запас древесины уменьшается от своего максимума в хвойно-широколиственных (смешанных) лесах как в северном направлении – до $89,0 \pm 6,0 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ в зоне притундровых лесов и редкостойной тайги, так и в южном – до $62,0 \pm 5,6 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ в полупустынной зоне Европейско-Уральской части России.

В азиатской части России максимальные значения среднего запаса древесины ($200 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ и более) отмечены в подзоне южной тайги и подтаежно-лесостепном районе Центральной Сибири. Минимальные значения запаса древесины наблюдаются в районе притундровых лесов и редкостойной тайги Дальнего Востока и Восточной Сибири – $20,7 \pm 4,0 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ и $35,0 \pm 5,0 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ соответственно.



Рис. 2. Пространственное распределение среднего запаса древесины по лесорастительным зонам и лесным районам. Административные границы показаны в соответствии с российским законодательством на год завершения первого цикла ГИЛ – 2020 г.

Запасы углерода в надземной и подземной фитомассе оценены как для лесных земель в целом, так и для единиц лесорастительного районирования и административных образований Российской Федерации. Ниже приведены расчетные значения общих запасов и сопоставимый показатель – среднее значение запаса углерода, т.е. количество углерода в фитомассе на единицу площади (га) лесных земель.

В распределении средних запасов углерода в фитомассе по единицам лесорастительного районирования хорошо прослеживается широтная зональность и меридиональный градиент север–юг (рис. 3).

Средний запас углерода в фитомассе увеличивается с $14,3 \pm 1,6$ т С га⁻¹ в зоне притундровых лесов и редкостойной тайги на севере до $61,8 \pm 2,2$ т С га⁻¹ в зоне тайги, достигая максимума $84,6 \pm 1,4$ т С га⁻¹ в хвойно-широколиственных (смешанных) лесах. К югу от зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов средний запас углерода в фитомассе снижается с $71,2 \pm 1,8$ и $62,3 \pm 2,0$ т С га⁻¹ в лесостепной и степной зонах соответственно до минимального значения $22,8 \pm 2,7$ т С га⁻¹ в редколесьях полупустынь и пустынь. Максимального значения в $119,2 \pm 4,5$ т С га⁻¹ показатель достигает в лесах Северного Кавказа и горного Крыма.

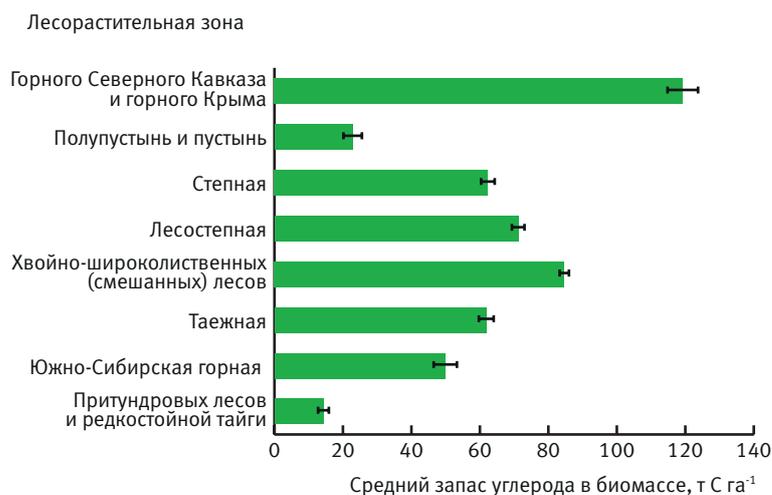


Рис. 3. Средние запасы углерода в фитомассе по лесорастительным зонам (представлены средние значения и стандартная ошибка)

ГИЛ первого цикла проведена на территории 84 административных образований Российской Федерации – республик, краев, автономных округов и областей. Площади лесов, запасы древесины и общие запасы углерода в разных регионах существенно различаются, поэтому уместно сравнить средние запасы углерода на единицу площади. Пространственное распределение средних запасов углерода в фитомассе по административным единицам демонстрирует различия между регионами (рис. 4).

В силу благоприятных климатических и лесорастительных условий средние запасы углерода в фитомассе достигают максимальных значений в лесах западной части Северо-Кавказского региона – от 185,5 (Республика Адыгея) до 212,8 т С га⁻¹ (Республика Северная Осетия – Алания). Минимальные средние запасы углерода ($5,2$ т С га⁻¹) приходятся на полупустынные и пустынные районы Республики Калмыкии. Климат этого региона засушливый, с высокими летними температурами и минимальным количеством осадков. Типичными видами деревьев и кустарников в лесах и редколесьях полупустынь являются вяз мелколистный (*Ulmus parvifolia*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), тополь черный (*Populus nigra*), гребенщик ветвистый (*Tamarix ramosissima*), джужгун (кандым) безлистный (*Calligonum aphyllum*) и др. Низкие средние запасы углерода (около 11 т С га⁻¹) отмечены в Чукотском АО и Магаданской обл. на северо-востоке Дальнего Востока (см. рис. 4, табл. 1). Суровый климат и широкое распространение вечной мерзлоты обуславливают развитие устойчивой к низким температурам лесотундровой древесно-кустарниковой растительности с преобладанием лиственницы Гмелина, или даурской (*Larix gmelinii*), кедрового стланика (*Pinus pumila*), ивы Максимовича (*Salix maximowiczii*), березы Каяндера (*Betula cajanderi*) и др. Общие и средние запасы углерода в фитомассе по административным образованиям приведены в табл. 1.

Максимальные значения общего запаса углерода в фитомассе зафиксированы в лесах Восточной Сибири и Дальнего Востока, а именно: в Республике Саха (Якутия), Красноярском



Рис. 4. Пространственное распределение среднего запаса углерода в фитомассе лесов России по административным единицам по состоянию на 2020 г. Границы территориального деления приведены в соответствии с российским законодательством на год завершения первого цикла ГИЛ –2020 г.

Таблица 1. Запасы углерода в фитомассе лесов по административным единицам Российской Федерации. Общее и среднее значение (\pm стандартная ошибка – SE)

Административное образование*	Запас углерода в фитомассе		Площадь лесов, млн га
	Общий, млн т С	Средний, т С га ⁻¹	
Алтайский край	279 \pm 23,5	70,1 \pm 5,9	4,0
Республика Алтай	282 \pm 31,6	63,3 \pm 7,1	4,5
Краснодарский край	243 \pm 19,5	163,0 \pm 13,1	1,5
Красноярский край	5 583 \pm 383,0	43,2 \pm 3,0	129,2
Приморский край	1 074 \pm 84,2	83,0 \pm 6,5	12,9
Ставропольский край	9 \pm 1,7	79,9 \pm 14,7	0,1
Хабаровский край	2 235 \pm 100,8	37,7 \pm 1,7	59,2
Республика Ингушетия	10 \pm 2,4	125,8 \pm 29,6	0,1
Амурская область	1 189 \pm 49,0	44,7 \pm 1,8	26,6
Архангельская область	1 778 \pm 76,7	77,4 \pm 3,3	23,0
Астраханская область	4 \pm 0,7	37,2 \pm 6,6	0,1
Чеченская Республика	43 \pm 6,4	128,4 \pm 19,1	0,3
Белгородская область	38 \pm 2,5	147,2 \pm 9,8	0,3
Брянская область	129 \pm 9,3	107,7 \pm 7,8	1,2
Владимирская область	151 \pm 9,5	96,5 \pm 6,1	1,6
Волгоградская область	41 \pm 6,6	73,5 \pm 11,8	0,6
Вологодская область	949 \pm 59,5	91,4 \pm 5,7	10,4
Воронежская область	42 \pm 2,9	95,3 \pm 6,5	0,4

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 1

Административное образование*	Запас углерода в фитомассе		Площадь лесов, млн га
	Общий, млн т С	Средний, т С га ⁻¹	
Еврейская АО	95±4,3	55,7±2,5	1,7
Нижегородская область	335±19,7	88,7±5,2	3,8
Ненецкий АО	8±5,0	42,9±27,0	0,2
Ивановская область	100±11,0	95,9±10,5	1,0
Иркутская область	5 283±341,7	79,9±5,2	66,1
Калининградская область	37±3,0	126,2±10,4	0,3
Тверская область	481±10,4	101,2±2,2	4,8
Калужская область	180±13,1	130,8±9,5	1,4
Камчатский край	556±62,1	25,7±2,9	21,6
Кемеровская область-Кузбасс	373±24,9	62,3±4,2	6,0
Кировская область	757±35,6	95,6±4,5	7,9
Костромская область	453±26,6	98,5±5,8	4,6
Чукотский АО	109±70,9	11,2±7,3	9,8
Самарская область	59±2,9	82,6±4,0	0,7
Курганская область	131±13,9	77,2±8,2	1,7
Курская область	29±2,8	119,0±11,4	0,2
Ленинградская область	531±16,7	106,8±3,3	5,0
Липецкая область	27±1,5	124,3±6,8	0,2
Республика Крым	30±3,8	121,1±15,4	0,2
Магаданская область	305±62,2	11,1±2,3	27,5
Московская область	257±24,7	130,0±12,5	2,0
Мурманская область	158±9,0	28,8±1,6	5,5
Новгородская область	332±15,0	92,2±4,2	3,6
Новосибирская область	310±24,3	63,2±5,0	4,9
Омская область	270±18,5	57,6±4,0	4,7
Оренбургская область	41±4,0	67,2±6,5	0,6
Орловская область	25±2,8	124,6±13,7	0,2
Пензенская область	89±3,5	92,6±3,6	1,0
Пермский край	1 066±31,4	90,7±2,7	11,8
Псковская область	216±9,7	98,1±4,4	2,2
Ростовская область	9±0,8	32,6±2,9	0,3
Рязанская область	82±3,9	78,1±3,7	1,1
Саратовская область	46±1,7	70,1±2,6	0,7
Сахалинская область	363±24,9	56,0±3,8	6,5
Свердловская область	1,342±57,9	99,6±4,3	13,5
Смоленская область	211,2±18,2	98,8±8,5	2,1
Тамбовская область	39±2,5	104,6±6,8	0,4
Томская область	1 155±49,8	59,2±2,6	19,5
Тульская область	52±4,6	138,2±12,2	0,4
Тюменская область	476±24,3	64,4±3,3	7,4
Ханты-Мансийский АО	1 624±72,3	55,8±2,5	29,1

ОКОНЧАНИЕ ТАБЛ. 1

Административное образование*	Запас углерода в фитомассе		Площадь лесов, млн га
	Общий, млн т С	Средний, т С га ⁻¹	
Ульяновская область	94±4,6	93,2±4,6	1,0
Ямало-Ненецкий АО	318±20,3	18,0±1,2	17,7
Челябинская область	223±14,8	81,9±5,5	2,7
Забайкальский край	1 274±87,4	41,5±2,8	30,7
Ярославская область	173±11,9	100,5±6,9	1,7
Республика Адыгея	53±3,7	185,5±12,7	0,3
Республика Башкортостан	523±20,5	89,9±3,5	5,8
Республика Бурятия	1 068±79,5	45,0±3,4	23,7
Республика Дагестан	30,9±1,7	82,3±4,5	0,4
Кабардино-Балкарская Республика	31,3±4,7	165,7±25,0	0,2
Республика Калмыкия	0,1±0,1	5,2±2,9	0,03
Республика Карелия	781±30,6	79,8±3,1	9,8
Республика Коми	1 903±108,2	62,1±3,5	30,7
Республика Марий Эл	140±11,0	104,4±8,2	1,3
Республика Мордовия	80±6,2	109,5±8,6	0,7
Республика Северная Осетия – Алания	41±3,2	212,8±16,3	0,2
Карачаево-Черкесская Республика	71,9±6,3	167,7±14,8	0,4
Республика Татарстан	106±4,2	87,8±3,4	1,2
Республика Тыва	523±79,0	58,3±8,8	9,0
Удмуртская Республика	227±33,3	112,8±16,6	2,0
Республика Хакассия	222,5±30,1	67,1±9,1	3,3
Республика Чувашия	57±3,9	94,4±6,5	0,6
Республика Саха (Якутия)	6 853,2±1,007,4	34,5±5,1	198,7
ВСЕГО	46 920,9 ±404,4	52,1±0,5	899,9

* Единицы административно-территориального деления приведены по состоянию на год завершения первого цикла ГИЛ – 2020 г.

крае и Иркутской обл. (более 5×10^9 т С). В этих субъектах Федерации расположены самые большие по площади лесные массивы. В общем запасе древесины значительная доля приходится на спелые и перестойные хвойные насаждения, преобладающие в лесах. Интенсивная заготовка древесины сосредоточена в районах вдоль реки Ангары в Иркутской обл. и на юго-востоке Красноярского края. В Республике Саха (Якутия), а также центральной и северной частях Красноярского края заготовка древесины ограничена из-за удаленности лесных массивов и отсутствия соответствующей инфраструктуры. Потери углерода в фитомассе возникают, главным образом, вследствие лесных пожаров. Из прочих

административных единиц, Хабаровский край и Республика Коми занимают второе место по суммарным запасам углерода в фитомассе, составляющим от $1,9 \times 10^9$ до более чем $2,2 \times 10^9$ т С (см. табл. 1).

По нашим оценкам, общий запас углерода в надземной и подземной фитомассе лесов России составил $46,9 \pm 0,4 \times 10^9$ т С при среднем значении запаса углерода $52,1 \pm 0,5$ т С га⁻¹.

Суммарные запасы углерода в фитомассе, рассчитанные по данным первого цикла ГИЛ, сравнивали с результатами расчетов по той же методике, но на основе данных ГУЛФ/ГЛР, используемых для национальной отчетности в рамках РКИК ООН (табл. 2).

Таблица 2. Запасы углерода в фитомассе по данным первого цикла ГИЛ и многолетние (с 1988 по 2020 г.) запасы углерода, рассчитанные по данным ГУЛФ/ГЛР

Источник данных/год	Запас углерода в фитомассе, млн т С			Средний запас углерода, т С га ⁻¹	Общая площадь лесных земель, млн га
	Надземная	Подземная	Всего		
Первый цикл ГИЛ	37 304,2±323,9	9 616,7±80,5	46 920,9±404,4	52,1±0,5	899,9
ГУЛФ и ГЛР/1988–2020	27 587,6±2 111,3	7 228,0±553,2	34 815,6±2 664,5	39,2±3,0	887,4

Вследствие обновленных и существенно больших исходных запасов древесины, запасы углерода в биомассе лесов, оцененные по данным ГИЛ, оказались примерно на 35 % больше, чем по данным ГЛР. Погрешности оценки суммарных и средних запасов углерода по данным ГИЛ значительно ниже (примерно ± 1 %). Причиной этого является более точная оценка запаса древесины по данным полевых измерений ГИЛ ($\pm 0,35$ %) по сравнению с запасом древесины, рассчитанным по данным ГЛР, стандартная ошибка которого варьирует от ± 15 до ± 30 %. Следует отметить две особенности данных ГУЛФ/ГЛР. Во-первых, эти данные основаны на агрегировании параметров на уровне древостоя по лесным выделам, а не на измерении отдельных деревьев на пробных площадях. Во-вторых, данные ГЛР потеряли актуальность, поскольку периодичность проведения

работ по лесоустройству во многих регионах превышает установленные нормативы (10–15 лет), а ревизионный период для 58,5 % лесных земель превышает 20 лет по состоянию на 2020 г. [31].

Приведем еще несколько примеров различных оценок общего запаса углерода в биомассе российских лесов, полученных разными исследовательскими группами в разные годы (табл. 3).

Результаты приведенных исследований показывают, что наши оценки в целом близки вышеприведенным (см. табл. 3), несмотря на особенности методик, использование разных источников данных и разные площади лесных земель, включенные в расчеты. Однако оценки, полученные на основе данных ГИЛ, превышают все ранее опубликованные на 34–59 %. Объясняется это более высоким общим запасом древесины, полученным в ходе ГИЛ для российских лесов

Таблица 3. Оценка запасов углерода в фитомассе лесов России

Авторы/год	Источник данных/метод	Запас углерода в фитомассе, 10 ⁹ т С	Площадь, млн га
В.А. Алексеев и Р. Бердси, 1998 [16]	ГУЛФ 1990	29,53	884,09 (лесные земли). 771,11 (лесопокрытые земли)
А.С. Исаев и Г.Н. Корвин, 1999 [49]	ГУЛФ	34,4	Нет данных
А.З. Швиденко и др., 2009 [19]	Модельные расчеты	34,4	776,1 (лесопокрытые земли)
А.З. Швиденко и Д.Г. Щепаченко, 2014 [20]	Модельные расчеты с использованием данных ГЛР	35,1±1,5	821,36 (лесопокрытые земли, в том числе заросшие лесом сельскохозяйственные земли)
Д.Г. Замолотчиков и др., 2018 [21]	ГЛР	32,03±2,54	785,58 (лесопокрытые земли)
Santoro et al., 2021 [50]	Дистанционное зондирование, радарные снимки	64,1*	1 014,2
Наше исследование	1-й цикл ГИЛ	46,9±0,4	899,9 (лесные земли)

* Только надземная фитомасса.

в сравнении с ранее представленным в данных ГЛР. Общий запас углерода в наземной фитомассе по данным радиолокационной съемки, опубликованный Santoro et al. [50], превышает полученный нами, однако площадь в этом исследовании была на 114 млн га больше, чем в нашем.

Кроме того, мы сравнили результаты проведенного исследования с оценками запасов углерода, сделанными экспертами шести стран, участвовавших в проекте Международной ассоциации исследователей бореальных лесов (IBFRA) [51]. В рамках этого проекта изучались бореальные леса субарктической зоны и части умеренной зоны Северного полушария. К субарктической зоне Северного полушария относятся Канада, Россия, Скандинавия (Норвегия, Швеция, Финляндия) и Аляска (США). По данным ГОЛР ФАО 2020, доля бореальных лесов в общей лесной площади этих стран составляет 76 % в Канаде [52], 86 % в России [30], 93 % в Норвегии [53], 71 % в Швеции [54], 98 % в Финляндии [55] и 15 % в США [56]. Бореальный пояс Северного полушария включает также леса северо-восточного Китая и северной Японии. Однако доля бореальных лесов в общей площади лесов в этих странах невелика: например, в Китае она составляет всего 7 % [57], а в Японии – ничтожно мала (менее 1 %) [58]. Национальная отчетность о запасах углерода в фитомассе лесов этих стран традиционно основана на многолетних данных НИЛ. Общие и средние запасы углерода в биомассе лесов, согласно отчетам экспертов основных стран бореального пояса, а также наши оценки на основе данных ГИЛ первого цикла представлены на рис. 5.

Общий запас углерода в фитомассе бореальных лесов России, по данным ГИЛ, оценивается нами в $37,8 \pm 0,7 \times 10^9$ т С при среднем значении $44,0 \pm 0,8$ т С га⁻¹. К бореальным лесам мы относим леса, расположенные в следующих лесорастительных зонах: зоне притундровых лесов и редкостойной тайги, таежной зоне и Южно-Сибирской горной зоне (см. рис. 2). Общий запас углерода в фитомассе бореальных лесов России значительно выше, чем в других странах бореального пояса, поскольку площадь,

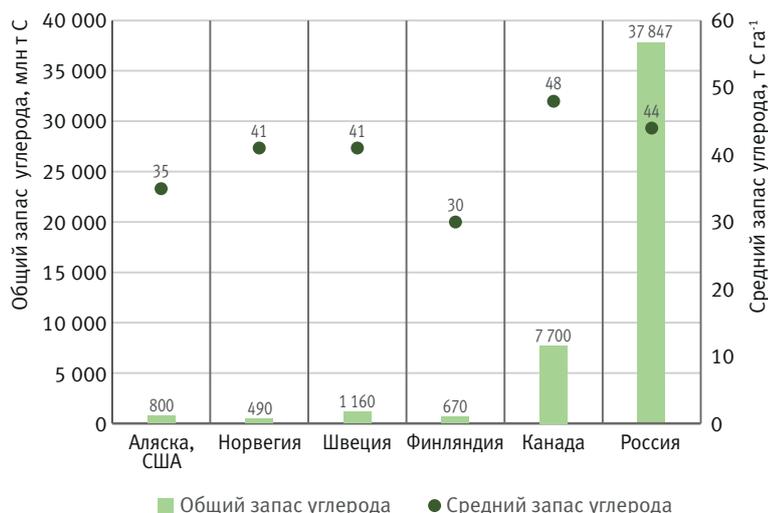


Рис. 5. ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ ЛЕСОВ ОСНОВНЫХ СТРАН БОРЕАЛЬНОГО ПОЯСА ПО СОСТОЯНИЮ НА 2018 Г.*

* Данные подготовлены в рамках проекта Insight Process «Sustainable boreal forest management – challenges and opportunities for climate change mitigation», проведенного группой, назначенной Международной ассоциацией исследователей бореальных лесов (IBFRA) [51]. Данные по Аляске были предоставлены за 2009 г. Данные по Канаде предоставлены только по управляемым лесам.

занимаемая лесами, значительно больше; поэтому целесообразно сравнивать средние значения. В целом запас углерода в фитомассе бореальных лесов находится в диапазоне 30–48 т С га⁻¹. В бореальных лесах Швеции и Норвегии средний запас углерода в фитомассе составляет около 41 т С га⁻¹. Данные по лесам Аляски и Канады можно сравнить с некоторыми оговорками (см. рис. 5). Для лесов Аляски средний запас углерода в фитомассе (35 т С га⁻¹) представляется несколько завышенным и отражает скорее мнение эксперта, так как в литературных источниках, основанных на данных НИЛ, приводится более реалистичное значение – около 24 т С га⁻¹ [59]. Средний запас углерода в фитомассе был оценен только для управляемых лесов Канады, где составил 48 т С га⁻¹. Это значение согласуется со значением, полученным для бореальных лесов России (44 т С га⁻¹). Согласованность значений можно объяснить схожей возрастной структурой бореальных лесов, преимущественно хвойных, в Канаде и России. Преобладание на больших площадях лесов старших возрастных групп в похожих лесорастительных условиях приводит

к увеличению среднего запаса углерода в фитомассе. Средний возраст древостоев в управляемых лесах Канады составляет 92 года [60], что сопоставимо со средним возрастом лесов России, оцениваемым в 97 лет [29]. В отличие от Канады и России, бореальные леса Скандинавии интенсивно управляются и имеют сбалансированную возрастную структуру. С этим связан более низкий средний запас углерода в лесной биомассе Скандинавских стран по сравнению с Россией и Канадой.

Близкие к результатам наших исследований средние значения запасов углерода в фитомассе были получены для бореальных лесов с преобладанием лиственницы и березы на северо-востоке Китая. Запас углерода в фитомассе насаждений лиственницы оценен в размере $49,3 \text{ т С га}^{-1}$, а в насаждениях березы – $42,4 \text{ т С га}^{-1}$ [40].

Обсуждение

Необходимо еще раз подчеркнуть, что наше исследование соответствует общим рекомендациям МГЭИК. МГЭИК поощряет любые действия, направленные на повышение качества оценок бюджета парниковых газов, предоставление проверенных национальных данных о влиянии лесного сектора на климатическую систему планеты и получение объективной информации о величине неопределенности оценок. Обсуждение целесообразно начать с сопоставления запасов углерода в фитомассе лесов, полученных в ходе нашего исследования, с данными, предназначенными для национальной отчетности. До настоящего времени оценка запасов углерода в Национальном докладе о кадастре парниковых газов (далее – Национальный кадастр ПГ) в рамках РКИК ООН для сектора ЗИЗЛХ основывалась на данных ГЛР. В Национальном кадастре ПГ приводят данные о запасах углерода в управляемых лесах. Площадь управляемых лесных земель, принятая в расчет в Национальном кадастре ПГ, составляет 666,2 млн га, т.е. приблизительно на 200 млн га меньше, чем общая площадь лесных земель в нашем исследовании; поэтому уместно

сравнить средние запасы углерода на единицу площади. По данным Национального кадастра ПГ, средний запас углерода в фитомассе (надземной и подземной вместе) управляемых лесов России составляет $40,1 \text{ т С га}^{-1}$ против $52,1 \pm 0,5 \text{ т С га}^{-1}$ в нашем исследовании. Это означает, что средний запас углерода в фитомассе, рассчитанный по данным ГИЛ, на 30 % выше при меньшей неопределенности (примерно $\pm 1 \%$), тогда как неопределенность оценки того же показателя в национальном отчете составляет более $\pm 15 \%$ [61]. Признавая преимущества данных ГИЛ для национальной отчетности по обязательствам РКИК ООН, Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля (ИГКЭ) Росгидромета и РАН, ответственный за подготовку Национального кадастра ПГ, приступил к разработке методологии использования этих данных. В 2021 г. в России начался второй цикл ГИЛ, который должен быть завершен к 2030 г. После его завершения можно будет определить текущий прирост запасов древесины и годичный отпад древесины в лесах страны. Полученный чистый прирост запасов древостоев позволит объективно оценить поглощение углерода биомассой российских лесов.

Данные ГИЛ активно используют во многих странах для составления национальной отчетности в рамках международных обязательств. Например, общеевропейские индикаторы устойчивого управления лесами в рамках процесса «Леса Европы» (Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe) включают, в частности, запас углерода в лесах. Согласно отчету «Состояние лесов Европы 2020», запас углерода в европейских лесах составляет в среднем $64,0 \text{ т С га}^{-1}$, а в лесах Центрально-Восточной Европы он значительно выше – $92,0 \text{ т С га}^{-1}$ [62]. Средний запас углерода в биомассе лесов Чехии составил 113 т С га^{-1} [36], что сопоставимо с нашими оценками для лесов горной зоны Северного Кавказа – 119 т С га^{-1} (см. рис. 3). Анализ результатов оценки запасов углерода в лесах Краснодарского края, расположенных в горной зоне Северного Кавказа, которые представлены в работе О. Ефимова и др. [63], показывает, что суммарные запасы углерода

в упомянутом исследовании занижены. Причина расхождения с нашими оценками заключается в различии исходных данных о запасах древостоев в лесах региона, использованных в исследовании. Запас древесины, по данным ГИЛ в Краснодарском крае, в 2 раза выше, чем в исследовании, проведенном О. Ефимовым и др. [63].

Среднее значение запасов углерода в фитомассе буковых древостоев, рассчитанное по данным НИЛ Германии, составило 127 т С га^{-1} [28]. Эти результаты сопоставимы с полученными в нашем исследовании для наиболее продуктивных лесов Республики Ингушетии, расположенных в горной зоне Северного Кавказа – $125,8 \pm 29,6 \text{ т С га}^{-1}$ (см. табл. 1). Преобладающими древесными породами в регионе, как и в лесах Германии, являются широколиственные: бук восточный (*Fagus orientalis*), граб обыкновенный (*Carpinus betulus*) и ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*). На долю этих пород приходится около 69 % общего запаса товарной древесины.

Несмотря на то что результаты, полученные в нашем исследовании, не противоречат оценкам экспертного сообщества, расчеты с использованием данных первого цикла ГИЛ нуждаются в дальнейшей доработке и продолжении. В ходе проведения ГИЛ ряд показателей был получен впервые и не был включен нами в общую оценку запасов углерода в фитомассе российских лесов. Эти показатели характеризуют подрост, подлесок и живой напочвенный покров. Хотя эти данные существенно не увеличивают общую оценку запасов углерода в фитомассе лесов, их учет представляет научный интерес. На ППП ГИЛ первого цикла был также собран репрезентативный набор данных по древесному детриту (сухостойная древесина, валежник, пни, хворост). Первые сводные результаты оценки запасов древесного детрита, которые получены на основании выборки 27 403 ППП, характеризующей 15 лесных районов из 42 в целом по стране, были опубликованы [64]. Для более глубокого анализа репрезентативного набора данных о запасах древесного детрита по стране в целом и их региональном распределении необходимы дальнейшие исследования. Мертвое органическое вещество представляет

собой значительный резервуар углерода в преимущественно бореальных лесах России. В настоящее время проводятся исследования по проверке методики оценки запасов углерода в древесном детрите на основе данных ГИЛ первого цикла. После завершения экспертизы методологии оценки запасов углерода в древесном детрите последует корректировка национальной отчетности.

Выводы

Проведенное исследование подтверждает, что данные прямых измерений количественных и качественных характеристик лесов России, полученные в ходе первого цикла государственной инвентаризации лесов, будут востребованы и могут улучшить национальную отчетность по лесам в соответствии с международными обязательствами.

Впервые проведена оценка запасов углерода в фитомассе лесов по данным инвентаризации на постоянных пробных площадях для лесных земель всей страны. Методика исследований соответствует рекомендациям МГЭИК и использует научно обоснованный набор коэффициентов пересчета, применяемых для оценки фитомассы лесов России. Общий запас углерода в надземной и подземной фитомассе оценен в размере $46,9 \pm 0,4 \times 10^9 \text{ т С}$, а среднее значение запаса углерода – $52,1 \pm 0,5 \text{ т С га}^{-1}$. Благодаря обновленному и значительно более высокому значению общих запасов древесины оценка запасов углерода в фитомассе оказалась примерно на 35 % выше, чем по данным ГЛР, используемым ранее. При этом неопределенность суммарных и средних запасов углерода по данным ГИЛ значительно ниже (примерно $\pm 1 \%$) по сравнению с предыдущими ($\pm 15\text{--}30 \%$).

В распределении среднего запаса углерода в фитомассе лесов России прослеживается широтная зональность и меридиональный градиент (север–юг). Средний запас углерода в фитомассе увеличивается от $14,3 \pm 1,6 \text{ т С га}^{-1}$ в зоне притундровых лесов и редкостойной тайги на севере до $61,8 \pm 2,2 \text{ т С га}^{-1}$ в таежной зоне, достигая

промежуточного максимума $84,6 \pm 1,4$ т С га⁻¹ в хвойно-широколиственных (смешанных) лесах. В меридиональном направлении средний запас углерода в фитомассе лесов снижается от $71,2 \pm 1,8$ и $62,3 \pm 2,0$ т С га⁻¹ в лесостепной и степной зонах соответственно до $22,8 \pm 2,7$ т С га⁻¹ в зоне полупустынь и пустынь. Максимального значения средний запас углерода достигает в горных лесах Северного Кавказа – $119,2 \pm 4,5$ т С га⁻¹.

Запасы углерода в различных лесных резервуарах представляют собой исходный набор данных для последующих оценок годовичного прироста органического вещества, накопленного лесными экосистемами, и, в конечном счете, годовичного поглощения углерода, т.е. их вклада в бюджет углерода. Однако оценка годовичного

прироста и потерь органического вещества в лесных экосистемах требует повторных измерений параметров на одних и тех же пробных площадях. В 2021 г. в России начался второй цикл ГИЛ, который должен быть завершен к 2030 г. Информация, полученная в ходе второго цикла ГИЛ, позволит ответить на вопрос о реальном потенциале российских лесов по поглощению атмосферного углерода и его накоплению в лесных экосистемах. Необходимо продолжать изучение и совершенствовать практику использования данных полевых измерений на ППП ГИЛ, беспрецедентных по территориальному охвату, объему выборки и точности измеряемых характеристик, для улучшения оценки бюджета углерода в российских лесах.

Данная работа является вкладом в выполнение государственного задания № 975 от 23.12.2021 Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства, подведомственного Федеральному агентству лесного хозяйства Министерства природных ресурсов и экологии РФ.

Список источников

1. UNFCCC COP 26, 2021. – Текст : электронный. – Режим доступа: <https://ukcop26.org/glasgow-leaders-declaration-on-forests-and-land-use>.
2. Global Carbon Budget 2022. – Текст : электронный / P. Friedlingstein, M. O'Sullivan, M.W. Jones, R.M. Andrew, L. Gregor, J. Hauck [et al.]. – Earth System Science Data. – 2022. – 14. – P. 4811–4900. – Режим доступа: <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.
3. Boreal forests in the face of climate change. *Advances in Global Change Research* 74. – Текст : электронный / M.M. Girona, H. Morin, S. Gauthier, Y. Bergeron. – Springer : Switzerland, 2023. – 837 p. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-15988-6>.
4. Reconciling global-model estimates and country reporting of anthropogenic forest CO₂ sinks. – Текст : электронный / G. Grassi, J. House, W.A. Kurz, A. Cescatti, R.A. Houghton, G.P. Peters [et al.] // *Nature Climate Change*. – 2018. – 8(10). – P. 914–920. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0283-x>.
5. A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics / G.E. Kindermann, I. McCallum, S. Fritz, M. Obersteiner // *Silva Fennica*. – 2008. – 42(3). – P. 387–396.
6. On the use of Earth Observation to support estimates of national greenhouse gas emissions and sinks for the Global stocktake process: lessons learned from ESA-CCI RECCAP2. – Текст : электронный / A. Bastos, P. Ciais, S. Sitch, L.E.O. Aragão, F. Chevallier, D. Fawcett [et al.] // *Carbon Balance and Management*. – 2022. – 17:15. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1186/s13021-022-00214-w>.
7. ORNL DAAC, 2010. – Текст : электронный. – Режим доступа: https://daac.ornl.gov/cgi-bin/theme_dataset_lister.pl?theme_id=5.
8. ESA DUE GlobBiomass, 2010. – Текст : электронный. – Режим доступа: <http://globbiomass.org/products/global-mapping>.
9. Global Carbon Atlas, 2021. – Текст : электронный. – Режим доступа: <http://globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>.
10. Santoro, M. ESA Biomass Climate Change Initiative (Biomass_cci): Global datasets of forest above-ground biomass for the year 2017. – Текст : электронный / M. Santoro, O. Cartus // Centre for Environmental Data Analysis (CEDA). – 2019. – V1. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.5285/bedc59f37c9545c981a839eb552e4084>.
11. Santoro, M. GlobBiomass – global datasets of forest biomass. – Текст : электронный / M. Santoro // PANGAEA. – 2018. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894711>.
12. Harmonized global maps of above and belowground biomass carbon density in the year 2010. – Текст : электронный / S.A. Spawn, C.C. Sullivan, T.J. Lark, H.K. Gibbs // *Scientific Data*. – 2020. – 7:112. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0444-4>.
13. Combining satellite lidar, airborne lidar, and ground plots to estimate the amount and distribution of aboveground biomass in the boreal forest of North America. – Текст : электронный / H.A. Margolis, R.F. Nelson, P.M. Montesano, A. Beaudoin, G. Sun, H.-E. Andersen, M.A. Wulder // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2015. – 45. – P. 838–855. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1139/cjfr-2015-0006>.
14. Carbon stock in forest aboveground biomass – comparison based on Landsat data / V. Pechanec, F. Stržínek, J. Purkyt, L. Štěrbová, P. Cudlín // *Central European Forestry Journal*. – 2017. – 63. – P. 126–132.
15. The European Space Agency BIOMASS mission: Measuring forest above-ground biomass from space. – Текст : электронный / S. Quegan, T.L. Toan, J. Chave, J. Dall, J.-F. Exbrayat, D.H. Tong Minh [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. – 2019. – 227. – P. 44–60. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.032>.
16. Carbon storage in forests and peatlands of Russia / eds.: V.A. Alexeyev, R.A. Birdsey // *General Technical Report NE-244*. – Radnor, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 1998. – 137 p.

17. Усольцев, В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география / В.А. Усольцев. – Екатеринбург : УроРАН, 2001. – 708 с.
18. Аллометрические модели фитомассы деревьев для лазерного сканирования и наземной таксации углеродного пула в лесах Евразии: сравнительный анализ / В.А. Усольцев, В.П. Часовских, Ю.В. Норицина, Д.В. Норицин // Сибирский лесной журнал. – 2016. – № 4. – С. 68–77.
19. Швиденко, А. Оценка запасов древесного детрита в лесах России / А. Швиденко, Д. Щепашенко, С. Нильссон // Лесная таксация и лесоустройство. – 2009. – № 1(41). – С. 133–147.
20. Швиденко, А.З. Углеродный бюджет лесов России / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 1. – С. 69–92.
21. Замолотчиков, Д.Г. Динамика баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации. – Текст: электронный / Д.Г. Замолотчиков, В.И. Грабовский, О.В. Честных // Вопросы лесной науки. – 2018. – Т. 1(1). – С. 1–24. – Режим доступа: <http://doi.org/10.31509/2658-607x-2018-1-1-1-24>.
22. Designing and Conducting a Forest Inventory – case: 9th National Forest Inventory of Finland / E. Tomppo, J. Heikkinen, H.M. Henttonen, A. Ihalainen, M. Katila, H. Mäkelä [et al.]. – Dordrecht, Heidelberg, London, New York : Springer Science+Business Media B.V., 2011. – 270 p. DOI 10.1007/978-94-007-1652-0T.
23. Korhonen, K. Chapter 19 Finland / K. Korhonen // National Forest Inventories: Assessment of Wood Availability and Use / C. Vidal, I. Alberdi, L. Hernandez, J. Redmond [et al.]. – Switzerland : Springer International Publishing, 2016. – 369–384. DOI 10.1007/978-3-319-44015-6.
24. Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921–2018. – Текст : электронный / К.Т. Korhonen, A. Ahola, J. Heikkinen, H.M. Henttonen, J.-P. Hotanen, A. Ihalainen [et al.] // Silva Fennica. – 2021. – 55 (5):10662. – Режим доступа: <https://doi.org/10.14214/sf.10662>.
25. A century of National Forest Inventory in Norway – informing past, present, and future decisions. – Текст: электронный / J. Breidenbach, A. Granhus, G. Hysten, R. Eriksen, R. Astrup // Forest Ecosystems. – 2021. – 8:36. – Режим доступа: <https://forestecosyst.springeropen.com/articles/10.1186/s40663-020-00261-0>
26. Adapting National Forest Inventories to changing requirements – the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century/ J. Fridman, S. Holm, M. Nilsson, P. Nilsson, A.H. Ringvall, G. Ståhl // Silva Fennica. – 2014. – 48(3):1095.
27. Adolt, R. Pracovní postupy terénního šetření Sledování stavu a vývoje lesních ekosystémů (2016–2020) / R. Adolt, M. Kučera. – Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem (ÚHÚL), 2021. – 664 p. – Режим доступа: <https://nil.uhul.cz/aktuality/43-ukoncení-sberu-dat-a-publikace-pracovních-postupu-ssvle-2016-2020>.
28. Carbon stocks in tree biomass and soils of German forests / N. Wellbrock, E. Grüneberg, T. Riedel, H. Polley // Central European Forestry Journal. – 2017. – 63. – P. 105–113. DOI: 10.1515/forj-2017-0013.
29. Аналитический обзор о состоянии лесов, их количественных и качественных характеристиках по данным постоянных пробных площадей государственной инвентаризации лесов Российской Федерации. – Москва : Рослесхоз, 2022. – 14 с. <https://rosleshoz.gov.ru/+data/DOCS/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9%20%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%B7%D0%B0%202022.pdf>.
30. Global forest resource assessment 2020 – country report: Russian Federation. – Текст : электронный. – Rome : FAO, 2020. – 77 p. – Режим доступа : <https://www.fao.org/3/cb0053en/cb0053en.pdf>.
31. Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата. – Текст: электронный / А.Н. Филипчук, Н.В. Малышева, Т.А. Золина, А.Н. Югов // Лесохозяйственная информация. – 2020. – № 1. – С. 92–113. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10. – Режим доступа: lhi.vniilm.ru.

32. Národní inventarizace lesů v České Republice 2001–2004. Úvod, metody, výsledky. – Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem : Forest Management Institute, 2007. – 224 p.
33. State forest inventory data as a new information base for estimating carbon stocks and carbon removals by forests: the feasibility and prospects for use in national reporting under international agreements. – Текст : электронный / A.N. Filipchuk, N.V. Malysheva, A.N. Yugov, T.A. Zolina, R.Yu. Mironov // IOP Conference Series: Earth Environmental Science, 2021. – 876:012028. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1088/1755-1315/876/1/012028>.
34. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. – Текст : электронный. – Japan : Institute for Global Environmental Strategies, 2006. – 84 p. – Режим доступа : https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf.
35. A constructive review of the State Forest Inventory in the Russian Federation. – Текст : электронный / A. Alekseev, E. Tomppo, R.E. McRoberts, K. von Gadow // Forest Ecosystems. – 2019. – 6:9. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0165-3>.
36. Country and regional carbon stock in forest cover – estimates based on the first cycle of the Czech National Forest Inventory data (2001–2004) / J. Merganič, K. Merganičová, B. Konôpka, M. Kučera // Central European Forestry Journal. – 2017. – 63.– P. 113–125. DOI: 10.1515/forj-2017-0018.
37. The current state of non-forest land in the Czech Republic and Slovakia – forest cover estimates based on the national inventory data / V. Šebeň, M. Kučera, B. Konôpka, K. Merganičová // Central European Forestry Journal. – 2018. – 64. – P. 207–222. DOI: 10.1515/forj-2017-0043.
38. Cerný, M. 2010: National Forest Inventories: chapter 8. Czech Republic / M. Cerný, M. Kučera, E. Cienciala, J. Beranova // National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting ; E. Tomppo, T. Gschwantner, M. Lawrence, R.E. McRoberts [et al.]. – Berlin : Springer Science+Business Media B.V., 2010. – P. 145–156. DOI: 10.1007/978-90-481-3233-1.
39. Solontsov, O. National Forest Inventory of the Russian Federation / O. Solontsov, A. Martinuk, A. Bukas // National Forest Inventories. Assessment of Wood Availability and Use ; C. Vidal, I. Alberdi, L. Hernandez, J. Redmond [et al.]. – Switzerland : Springer International Publishing, 2002. – P. 699–708.
40. Variation in carbon storage and its distribution by stand age and forest type in boreal and temperate forests in northeastern China. – Текст : электронный / Y. Wei, M. Li, H. Chen, B.J. Lewis, D. Yu, L. Zhou [et al.] // PLoS ONE. – 2013. – 8(8):e72201. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072201>.
41. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). – Текст : электронный / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко, С. Нильссон, Ю.И. Булуй. – Москва : Федеральное агентство лесного хозяйства, ИААА, 2008. – 886 с. – Режим доступа : <https://bookree.org/reader?file=826764&pg=3>.
42. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Annex 2: Summary of equations. – Japan : Institute for Global Environmental Strategies, 2006. – 34 p. – Режим доступа : https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_14_An2_SumEqua.pdf
43. IPCC. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. – Текст электронный. – Нагасаки. Kanagawa. Japan : Institute for Global Environmental Strategies, 2003. – 590 p. – Режим доступа : https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf.
44. Effective exploitation of existing information related to BEF ensured and gaps of knowledge on BEFs of different tree species by regions identified and reported. Multisource inventory methods for quantifying carbon stocks and stock changes in European forests. CarboInvent. Final report for Devilerable 2.2 / R. Mäkipää, E. Cienciala, C. Green, C. Gracia, A. Lehtonen, P. Muukkonen [et al.]. – Finland : Metla, 2005. – 258 p.
45. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. – Текст : электронный / Z. Somogyi, E. Cienciala, R. Mäkipää, P. Muukkonen, A. Lehtonen, P. Weiss // European Journal of Forest Research. – 2006. – 126. – P. 197–207. – Режим доступа : <http://doi.org/10.1007/s10342-006-0125-7>.

46. Improved Estimates of Biomass Expansion Factors for Russian Forests. – Текст: электронный / D. Schepaschenko, E. Moltchanova, A. Shvidenko, V. Blyshchyk, E. Dmitriev, O. Martynenko, L. See and F. Kraхner // *Forests*. – 2018. – 9:312. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/f9060312>.
47. GIS support of carbon sequestration, emissions and balance assessment for Russian forests / N. Malysheva, T. Zolina, A. Tsyplenkov, A. Filipchuk // *Proceedings of the 8th International Conference on Cartography and GIS (Bulgaria. June 20–25, 2020)* ; T. Bandrova, M. M. Konečný, S. Marinova (eds.) Nessebar. – Sofia : Bulgarian Cartographic Association, 2020. – V. 1. – P. 232–241. – Режим доступа: <https://iccgis2020.cartography-gis.com/proceedings-vol-1>.
48. Sun, W. Review on carbon storage estimation of forest ecosystem and applications in China. – Текст: электронный / W. Sun, X. Liu // *Forest Ecosystems*. – 2020. – 7:4. – Режим доступа : <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0210-2>.
49. Исаев, А.С. Углерод в лесах Северной Евразии / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин // *Круговорот углерода на территории России. Глобальные изменения природной среды и климата* ; под ред. Н.П. Лаверова и Г.А. Заварзина. – Москва : РАН, 1999. – P. 63–95.
50. The global forest above-ground biomass pool for 2010 estimated from high-resolution satellite observations. – Текст : электронный / M. Santoro, O. Cartus, N. Carvalhais, D.M.A. Rozendaal, V. Avitabile, A. Araza [et al.] // *Earth System Science Data*. – 2021. – 13. – P. 3927–3950. – Режим доступа: <https://doi.org/10.5194/essd-13-3927-2021>.
51. Sustainable boreal forest management – challenges and opportunities for climate change mitigation. Report from an Insight Process conducted by a team appointed by the International Boreal Forest Research Association (IBFRA) / P. Högberg, L.A. Ceder, R. Astrup, D. Binkley, L. Dalsgaard, G. Egnell [et al.]. – Jönköping : Swedish Forest Agency, 2021. – 61 p. – Режим доступа: <http://ibfra.org/wp-content/uploads/2022/01/rapport-2021-11-sustainable-boreal-forest-management-challenges-and-opportunities-for-climate-change-mitigation-002-1.pdf>.
52. Global forest resource assessment 2020 – country report: Canada. – Текст: электронный. – Rome : FAO, 2020. – 70 p. – Режим доступа: <https://www.fao.org/3/ca9983en/ca9983en.pdf>.
53. Global forest resource assessment 2020 – country report: Norway. – Текст : электронный. – Rome : FAO, 2020. – 60 p. – Режим доступа: <https://www.fao.org/3/cb0042en/cb0042en.pdf>.
54. Global forest resource assessment 2020 – country report: Sweden. – Текст: электронный. – Rome : FAO, 2020. – 57 p. – Режим доступа: <https://www.fao.org/3/cb0063en/cb0063en.pdf>.
55. Global forest resource assessment 2020 – country report: Finland. – Текст: электронный. – Rome : FAO, 2020. – 58 p. – Режим доступа: <https://www.fao.org/3/ca9995en/ca9995en.pdf>.
56. Global forest resource assessment 2020 – country report: USA. – Текст: электронный. – Rome : FAO, 2020, FAO, 156 p. – Режим доступа: <http://www.fao.org/3/cb0086en/cb0086en.pdf>.
57. Global forest resource assessment 2020 – country report: China. – Текст: электронный. – Rome : FAO, 2020, FAO. – 81 p. – Режим доступа: <https://www.fao.org/3/ca9980en/ca9980en.pdf>.
58. Global forest resource assessment 2020 – country report: Japan. – Текст : электронный. – Rome : FAO, 2020. – 61 p. – Режим доступа: <https://www.fao.org/3/cb0016en/cb0016en.pdf>.
59. Yarie, J. Carbon balance of the taiga forest within Alaska: Present and future. – Текст: электронный / J. Yarie, S. Billings // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2002. – 32(5). – P. 757–767. – Режим доступа : <http://doi.org/10.1139/x01-075>.
60. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008. – Текст: электронный / G. Stinson, W.A. Kurz, C.E. Smyth, E.T. Neilson, C.C. Dymond, J.M. Metsaranta [et al.] // *Global Change Biology*. – 2011. – 17. – P. 2227–2244. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x>.
61. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2020 гг. – Текст: электронный. – Ч. 1. Приложения. – Москва : ИГКЭ, Росгидромет, 2022. – 468 с. – Режим доступа: <https://unfccc.int/documents/461970>.
62. State of Europe's Forests 2020. – Bratislava, Zvolen : Liaison Unit Forest Europe, 2020. – 394 p.

63. Potential for carbon sequestration and the actual forest structure: the case of Krasnodar Krai in Russia / O. Efimov, D. Gura, S. Makar, R. Mustafin // *Central European Forestry Journal*. – 2022. – 68. – P. 15–22. DOI: 10.2478/forj-2021-0022.

64. Количественная оценка запасов древесного детрита в лесах Российской Федерации по данным ГИЛ. – Текст : электронный / Н.В. Малышева, А.Н. Филипчук, Т.А. Золина, Г.В. Сильягина // *Лесохозяйственная информация*. – 2019. – № 1. – С. 101–128. DOI: 10.24419/LHI.2304–3083.2019.1.09. – Режим доступа: <http://lhi.vniilm.ru>.

References

1. UNFCCC COP 26, 2021. – Текст : электронный. – Режим доступа: <https://ukcop26.org/glasgow-leaders-declaration-on-forests-and-land-use>.

2. Global Carbon Budget 2022. – Текст : электронный / R. Friedlingstein, M. O’Sullivan, M.W. Jones, R.M. Andrew, L. Gregor, J. Hauck [et al.]. – *Earth System Science Data*. – 2022. – 14. – P. 4811–4900. – Режим доступа: <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.

3. Boreal forests in the face of climate change. *Advances in Global Change Research* 74. – Текст : электронный / M.M. Girona, N. Morin, S. Gauthier, Y. Bergeron. – Springer : Switzerland, 2023. – 837 p. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-15988-6>.

4. Reconciling global-model estimates and country reporting of anthropogenic forest CO₂ sinks. – Текст : электронный / G. Grassi, J. House, W.A. Kurz, A. Cescatti, R.A. Houghton, G.P. Peters [et al.] // *Nature Climate Change*. – 2018. – 8(10). – P. 914–920. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0283-x>.

5. A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics / G.E. Kindermann, I. McCallum, S. Fritz, M. Obersteiner // *Silva Fennica*. – 2008. – 42(3). – P. 387–396.

6. On the use of Earth Observation to support estimates of national greenhouse gas emissions and sinks for the Global stocktake process: lessons learned from ESA-CCI RECCAP2. – Текст : электронный / A. Bastos, R. Ciais, S. Sitch, L.E.O. Arag o, F. Chevallier, D. Fawcett [et al.] // *Carbon Balance and Management*. – 2022. – 17:15. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1186/s13021-022-00214-w>.

7. ORNL DAAC, 2010. – Текст : электронный. – Режим доступа: https://daac.ornl.gov/cgi-bin/theme_dataset_list.pl?theme_id=5.

8. ESA DUE GlobBiomass, 2010. – Текст : электронный. – Режим доступа: <http://globbiomass.org/products/global-mapping>.

9. Global Carbon Atlas, 2021. – Текст : электронный. – Режим доступа: <http://globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>.

10. Santoro, M. ESA Biomass Climate Change Initiative (Biomass_cci): Global datasets of forest above-ground biomass for the year 2017. – Текст : электронный / M. Santoro, O. Cartus // *Centre for Environmental Data Analysis (CEDA)*. – 2019. – V1. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.5285/bedc59f37c9545c981a839eb552e4084>.

11. Santoro, M. GlobBiomass – global datasets of forest biomass. – Текст : электронный / M. Santoro // *PANGAEA*. – 2018. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894711>.

12. Harmonized global maps of above and belowground biomass carbon density in the year 2010. – Текст : электронный / S.A. Spawn, S.S. Sullivan, T.J. Lark, N.K. Gibbs // *Scientific Data*. – 2020. – 7:112. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0444-4>.

13. Combining satellite lidar, airborne lidar, and ground plots to estimate the amount and distribution of aboveground biomass in the boreal forest of North America. – Текст : электронный / N.A. Margolis, R.F. Nelson, R.M. Montesano, A. Beaudoin, G. Sun, N.-E. Andersen, M.A. Wulder // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2015. – 45. – P. 838–855. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1139/cjfr-2015-0006>.

14. Carbon stock in forest aboveground biomass – comparison based on Landsat data / V. Pechanec, F. Stržínek, J. Purkyt, L. Štěrbová, R. Cudlín // *Central European Forestry Journal*. – 2017. – 63. – P. 126–132.
15. The European Space Agency BIOMASS mission: Measuring forest above-ground biomass from space. – Tekst : elektronnyj / S. Quegan, T.L. Toan, J. Chave, J. Dall, J.-F. Exbrayat, D.H. Tong Minh [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. – 2019. – 227. – P.44–60. – Rezhim dostupa : <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.032>.
16. Carbon storage in forests and peatlands of Russia / eds.: V.A. Alexeyev, R.A. Birdsey // *General Technical Report NE-244*. – Radnor, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 1998. – 137 p.
17. Usol'cev, V.A. Fitomassa lesov Severnoj Evrazii: baza dannyh i geografiya / V.A. Usol'cev. – Ekaterinburg : UroRAN, 2001. – 708 s.
18. Allometricheskie modeli fitomassy derev'ev dlya lazernogo skanirovaniya i nazemnoj taksacii uglerodnogo pula v lesah Evrazii: sravnitel'nyj analiz / V.A. Usol'cev, V.P. Chasovskih, Yu.V. Noricina, D.V. Noricin // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. – 2016. – № 4. – S. 68–77.
19. Shvidenko, A. Ocenka zapasov drevesnogo detrita v lesah Rossii / A. Shvidenko, D. Shchepashchenko, S. Nil'sson // *Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo*. – 2009. – № 1(41). – S. 133–147.
20. Shvidenko, A.Z. Uglerodnyj byudzhet lesov Rossii / A.Z. Shvidenko, D.G. Shchepashchenko // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. – 2014. – № 1. – S. 69–92.
21. Zamolodchikov, D.G. Dinamika balansa ugleroda v lesah federal'nyh okrugov Rossijskoj Federacii. – Tekst: elektronnyj / D.G. Zamolodchikov, V.I. Grabovskij, O.V. Chestnyh // *Voprosy lesnoj nauki*. – 2018. – T. 1(1). – C. 1–24. – Rezhim dostupa: <http://doi.org/10.31509/2658-607x-2018-1-1-1-24>.
22. Designing and Conducting a Forest Inventory – case: 9th National Forest Inventory of Finland / E. Tomppo, J. Heikkinen, H.M. Henttonen, A. Ihalainen, M. Katila, H. Mäkelä [et al.]. – Dordrecht, Heidelberg, London, New York : Springer Science+Business Media B.V., 2011. – 270 r. DOI 10.1007/978-94-007-1652-0T.
23. Korhonen, K. Chapter 19 Finland / K. Korhonen // *National Forest Inventories: Assessment of Wood Availability and Use* / S. Vidal, I. Alberdi, L. Hernandez, J. Redmond [et al.]. – Switzerland : Springer International Publishing, 2016. – 369–384. DOI 10.1007/978-3-319-44015-6.
24. Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921–2018. – Tekst : elektronnyj / K.T. Korhonen, A. Ahola, J. Heikkinen, H.M. Henttonen, J.-P. Hotanen, A. Ihalainen [et al.] // *Silva Fennica*. – 2021. – 55(5):10662. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.14214/sf.10662>.
25. A century of National Forest Inventory in Norway – informing past, present, and future decisions. – Tekst: elektronnyj / J. Breidenbach, A. Granhus, G. Hysten, R. Eriksen, R. Astrup // *Forest Ecosystems*. – 2021. – 8:36. – Rezhim dostupa: <https://forestecosyst.springeropen.com/articles/10.1186/s40663-020-00261-0>
26. Adapting National Forest Inventories to changing requirements – the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century/ J. Fridman, S. Holm, M. Nilsson, P. Nilsson, A.H. Ringvall, G. Ståhl // *Silva Fennica*. – 2014. – 48(3):1095.
27. Adolt, R. Pracovní postupy terénního šetření Sledování stavu a vývoje lesních ekosystémů (2016–2020) / R. Adolt, M. Kučera. – Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem (ÚHÚL), 2021. – 664 p. – Rezhim dostupa: <https://nil.uhul.cz/aktuality/43-ukonceni-sberu-dat-a-publikace-pracovnich-postupu-ssvle-2016-2020>.
28. Carbon stocks in tree biomass and soils of German forests / N. Wellbrock, E. Grüneberg, T. Riedel, H. Polley // *Central European Forestry Journal*. – 2017. – 63. – P. 105–113. DOI: 10.1515/forj-2017-0013.
29. Analiticheskij obzor o sostoyanii lesov, ih kolichestvennyh i kachestvennyh harakteristikah po dannyh postoyannyh probnyh ploschadej gosudarstvennoj inventarizacii lesov Rossijskoj Federacii. – Moskva : Rosleskhoz, 2022. – 14 s. <https://rosleskhoz.gov.ru/+data/DOCS/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0>

%B9%20%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%BA%D1%80
%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%B7%D0%B0%202022.pdf.

30. Global forest resource assessment 2020 – country report: Russian Federation.– Tekst : elektronnyj. – Rome : FAO, 2020. – 77 p. – Rezhim dostupa : <https://www.fao.org/3/cb0053en/cb0053en.pdf>.

31. Boreal'nye lesa Rossii: vozmozhnosti dlya smyagcheniya izmeneniya klimata. – Tekst: elektronnyj / A.N. Filipchuk, N.V. Malysheva, T.A. Zolina, A.N. Yugov // Lesohozyajstvennaya informaciya. – 2020. – № 1. – S. 92–113. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10.– Rezhim dostupa: hi.vniilm.ru.

32. Národní inventarizace lesů v České Republice 2001–2004. Úvod, metody, výsledky. – Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem : Forest Management Institute, 2007. – 224 r.

33. State forest inventory data as a new information base for estimating carbon stocks and carbon removals by forests: the feasibility and prospects for use in national reporting under international agreements. – Tekst : elektronnyj / A.N. Filipchuk, N.V. Malysheva, A.N. Yugov, T.A. Zolina, R.Yu. Mironov // IOP Conference Series: Earth Environmental Science, 2021. – 876:012028. – Rezhim dostupa : <https://doi.org/10.1088/1755-1315/876/1/012028>.

34. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture. Forestry and Other Land Use. – Tekst : elektronnyj. – Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. – 84 p. – Rezhim dostupa: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf.

35. A constructive review of the State Forest Inventory in the Russian Federation. – Tekst: elektronnyj / A. Alekseev, E. Tomppo, R.E. McRoberts, K. von Gadow // Forest Ecosystems. – 2019. – 6:9. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0165-3>.

36. Country and regional carbon stock in forest cover – estimates based on the first cycle of the Czech National Forest Inventory data (2001–2004) / J. Merganič, K. Merganičová, B. Konôpka, M. Kučera // Central European Forestry Journal. – 2017. – 63.– P. 113–125. DOI: 10.1515/forj-2017-0018.

37. The current state of non-forest land in the Czech Republic and Slovakia – forest cover estimates based on the national inventory data / V. Šebeň, M. Kučera, B. Konôpka, K. Merganičová // Central European Forestry Journal. – 2018. – 64. – P. 207–222. DOI: 10.1515/forj-2017-0043.

38. Cerný, M. National Forest Inventories: chapter 8. Czech Republic / M. Cerný, M. Kučera, E. Cienciala, J. Beranova // National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting ; E. Tomppo, T. Gschwantner, M. Lawrence, R.E. McRoberts [et al.]. – Berlin : Springer Science+Business Media B.V., 2010. – R. 145–156. DOI: 10.1007/978-90-481-3233-1.

39. Solontsov, O. National Forest Inventory of the Russian Federation / O. Solontsov, A. Martinuk, A. Bukas // National Forest Inventories. Assessment of Wood Availability and Use ; S. Vidal, I. Alberdi, L. Hernandez, J. Redmond [et al.]. – Switzerland : Springer International Publishing, 2002. – R. 699–708.

40. Variation in carbon storage and its distribution by stand age and forest type in boreal and temperate forests in northeastern China. – Tekst: elektronnyj / Y. Wei, M. Li, H. Chen, B.J. Lewis, D. Yu, L. Zhou [et al.] // PLoS ONE. – 2013. – 8(8):e72201. – Rezhim dostupa : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072201>.

41. Tablicy i modeli hoda rosta i produktivnosti nasazhdenij osnovnyh lesoobrazuyushchih porod Severnoj Evrazii (normativno-spravochnye materialy). – Tekst : elektronnyj / A.Z. Shvidenko, D.G. Shchepashchenko, S. Nil'sson, Yu.I. Buluj. – Moskva : Federal'noe agentstvo lesnogo hozyajstva, IIASA, 2008. – 886 s. – Rezhim dostupa: <https://bookree.org/reader?file=826764&pg=3>.

42. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture. Forestry and Other Land Use. Annex 2: Summary of equations. – Japan : Institute for Global Environmental Strategies, 2006. – 34 p. – Rezhim dostupa : https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_14_An2_SumEqua.pdf.

43. IPCC. Good Practice Guidance for Land Use. Land-Use Change and Forestry. – Tekst elektronnyj. – Hayama. Kanagawa. Japan : Institute for Global Environmental Strategies, 2003. – 590 p. – Rezhim dostupa: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf.

44. Effective exploitation of existing information related to BEF ensured and gaps of knowledge on BEFs of different tree species by regions identified and reported. Multisource inventory methods for quantifying carbon stocks and stock changes in European forests. CarboInvent. Final report for Devilerable 2.2 / R. Mäkipää, E. Cienciala, S. Green, C. Gracia, A. Lehtonen, P. Muukkonen [et al.]– Finland : Metla, 2005. – 258 p.
45. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. – Tekst: elektronnyj / Z. Somogyi, E. Cienciala, R. Mäkipää, P. Muukkonen, A. Lehtonen, P. Weiss // European Journal of Forest Research. – 2006. – 126.– P. 197–207. – Rezhim dostupa: <http://doi.org/10.1007/s10342-006-0125-7>.
46. Improved Estimates of Biomass Expansion Factors for Russian Forests. – Tekst: elektronnyj / D. Schepaschenko, E. Moltchanova, A. Shvidenko, V. Blyshchyk, E. Dmitriev, O. Martynenko, L. See and F. Kraxner // Forests. – 2018. – 9 : 312. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.3390/f9060312>.
47. GIS support of carbon sequestration, emissions and balance assessment for Russian forests / N. Malysheva, T. Zolina, A. Tsyplenkov, A. Filipchuk // Proceedings of the 8th International Conference on Cartography and GIS (Bulgaria. June 20–25, 2020) ; T. Bandrova, M. Konečný, S. Marinova (eds.) Nessebar. — Sofia : Bulgarian Cartographic Association, 2020. – V. 1. – R. 232–241. – Rezhim dostupa: <https://iccgis2020.cartography-gis.com/proceedings-vol-1>.
48. Sun, W. Review on carbon storage estimation of forest ecosystem and applications in China. – Tekst: elektronnyj / W. Sun, X. Liu // Forest Ecosystems. – 2020. – 7:4. – Rezhim dostupa : <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0210-2>.
49. Isaev, A.S. Uglerod v lesah Severnoj Evrazii / A.S. Isaev, G.N. Korovin // Krugovorot ugleroda na territorii Rossii. Global'nye izmeneniya prirodnoj sredy i klimata ; pod red. N.P. Laverova i G.A. Zavarzina. – Moskva : RAN, 1999. – R. 63–95.
50. The global forest above-ground biomass pool for 2010 estimated from high-resolution satellite observations. – Tekst : elektronnyj / M. Santoro, O. Cartus, N. Carvalhais, D.M.A. Rozendaal, V. Avitabile, A. Araza [et al.] // Earth System Science Data. – 2021. – 13. – P. 3927–3950. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.5194/essd-13-3927-2021>.
51. Sustainable boreal forest management – challenges and opportunities for climate change mitigation. Report from an Insight Process conducted by a team appointed by the International Boreal Forest Research Association (IBFRA) / R. Högberg, L.A. Ceder, R. Astrup, D. Binkley, L. Dalsgaard, G. Egnell [et al.]. – Jönköping : Swedish Forest Agency, 2021. – 61 p. – Rezhim dostupa: <http://ibfra.org/wp-content/uploads/2022/01/rapport-2021-11-sustainable-boreal-forest-management-challenges-and-opportunities-for-climate-change-mitigation-002-1.pdf>.
52. Global forest resource assessment 2020 – country report: Canada. – Tekst: elektronnyj. – Rome : FAO, 2020. – 70 p. – Rezhim dostupa: <https://www.fao.org/3/ca9983en/ca9983en.pdf>.
53. Global forest resource assessment 2020 – country report: Norway. – Tekst : elektronnyj. – Rome : FAO, 2020. – 60 p. – Rezhim dostupa: <https://www.fao.org/3/cb0042en/cb0042en.pdf>.
54. Global forest resource assessment 2020 – country report: Sweden. – Tekst: elektronnyj. – Rome : FAO, 2020. – 57 p. – Rezhim dostupa: <https://www.fao.org/3/cb0063en/cb0063en.pdf>.
55. Global forest resource assessment 2020 – country report: Finland. – Tekst: elektronnyj. – Rome : FAO, 2020. – 58 p. – Rezhim dostupa: <https://www.fao.org/3/ca9995en/ca9995en.pdf>.
56. Global forest resource assessment 2020 – country report: USA. – Tekst: elektronnyj. – Rome : FAO, 2020, FAO, 156 p. – Rezhim dostupa: <http://www.fao.org/3/cb0086en/cb0086en.pdf>.
57. Global forest resource assessment 2020 – country report: China. – Tekst: elektronnyj. – Rome : FAO, 2020, FAO. – 81 p. – Rezhim dostupa: <https://www.fao.org/3/ca9980en/ca9980en.pdf>
58. Global forest resource assessment 2020 – country report: Japan. – Tekst : elektronnyj. – Rome : FAO, 2020. – 61 p. – Rezhim dostupa: <https://www.fao.org/3/cb0016en/cb0016en.pdf>.
59. Yarie, J. Carbon balance of the taiga forest within Alaska: Present and future. – Tekst: elektronnyj / J. Yarie, S. Billings // Canadian Journal of Forest Research. – 2002. – 32(5). – P. 757–767. – Rezhim dostupa : <http://doi.org/10.1139/x01-075>.

60. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008. – Tekst: elektronnyj / G. Stinson, W.A. Kurz, C.E. Smyth, E.T. Neilson, C.C. Dymond, J.M. Metsaranta [et al.] // *Global Change Biology*. – 2011. – 17.– P. 2227–2244. – Rezhim dostupa : <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x>. Nacional'nyj doklad o kadastre antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom za 1990–2020 gg. – Tekst: elektronnyj. – Ch. 1. Prilozheniya. – Moskva : IGKE, Rosgidromet, 2022. – 468 s. – Rezhim dostupa: <https://unfccc.int/documents/461970>.
61. State of Europe's Forests 2020. – Bratislava, Zvolen : Liaison Unit Forest Europe, 2020. – 394 p.
62. Potential for carbon sequestration and the actual forest structure: the case of Krasnodar Krai in Russia / O. Efimov, D. Gura, S. Makar, R. Mustafin // *Central European Forestry Journal*. – 2022. – 68. – P. 15–22. DOI: 10.2478/forj-2021-0022.
63. Kolichestvennaya ocenka zapasov drevesnogo detrita v lesah Rossijskoj Federacii po dannym GIL. – Tekst : elektronnyj / N.V. Malysheva, A.N. Filipchuk, T.A. Zolina, G.V. Sil'nyagina // *Lesohozyajstvennaya informaciya*. – 2019. – № 1. – S. 101–128. DOI: 10.24419/LHI.2304–3083.2019.1.09. – Rezhim dostupa: <http://lhi.vniilm.ru>.