

Научная статья
УДК 630.2
EDN ERIGWA
DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.01

Технологическая реализация лесоводственных мероприятий, обеспечивающих эффективное выполнение лесами функций депонирования и консервации углерода*

Владимир Иванович Желдак¹

доктор биологических наук

Эльвира Валерьевна Дорощенко²

Анастасия Николаевна Сычева³

Татьяна Валерьевна Липкина⁴

Евгений Евгеньевич Живаев⁵

Аннотация. Результативность мероприятий содержания лесов и лесопользования, особенно лесоводственных рубок, в значительной мере зависит от адекватности (точности) реализации их на практике применением определённых технологий. По данным литературных источников и материалам обобщения исторического опыта ведения лесного хозяйства и лесопользования, осуществление рубок ухода и смены поколений леса – в прошлом рубок главного пользования – на базе несовершенных механизированных технологий лесосечных работ нередко приводило к результатам, не соответствующим предусмотренным видам выборочных лесоводственных рубок, и даже к полному искажению сущности этих мероприятий. В связи с этим в работе с использованием системного метода лесоводства решаются задачи установления исходных принципов технологического обеспечения адекватной реализации лесоводственных мероприятий с учётом природных свойств и специфики целевого назначения лесов, в том числе выполнения ими функций депонирования и консервации углерода. Это достигается путём использования методических положений обоснованного выбора видов и вариантов технологической организации участков – объектов лесоводства и технологических процессов содержания лесов и лесопользования, позволяющих наиболее точно осуществлять лесоводственные воздействия на лесные экосистемы, предусмотренные соответствующими видами мероприятий.

Ключевые слова: технологии лесоводственных мероприятий, депонирование и консервация углерода, технологическая организация территории участка.

Для цитирования: Желдак В.И., Дорощенко Э.В., Сычева А.Н., Липкина Т.В., Живаев Е.Е. Технологическая реализация лесоводственных мероприятий, обеспечивающих эффективное выполнение лесами функций депонирования и консервации углерода. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2023. № 3. С. 5–25. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.01. <https://elibrary.ru/erigwa>.

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

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

³ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, ведущий инженер (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), sicheva8@inbox.ru

⁴ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, младший научный сотрудник (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), ltv84@bk.ru

⁵ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, ведущий инженер (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), zhivaev-ee@yandex.ru

Original article

EDN ERIGWA

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.01

Technological Realization Silvicultural Activities that Ensure the Effective Performance of the Functions of Carbon Deposition and Conservation by the Forest

Vladimir I. Zheldak¹

Doctor of Biological Sciences

Elvira V. Doroshenkova²

Anastasia N. Sycheva³

Tatyana V. Lipkina⁴

Evgeny E. Zhivaev⁵

Abstract. Effectiveness of activities of forest maintenance and forest management, especially silvicultural felling, largely depends on the adequacy (accuracy) of their implementation in practice using certain technologies. According to literary sources and materials of generalization of the historical experience of forestry and forest management, the implementation of thinning and change of forest generations – in the past, felling of the main use on the basis of imperfect mechanized logging operations technologies often led to results that did not correspond to the intended type of selective silvicultural felling and even a complete distortion of the essence these events. In this regard in this work, using the systematic method of forestry, the tasks of establishing the initial principles of technological support for the adequate implementation of forestry activities are solved, taking into account the natural properties and specifics of the intended purpose of forests, including their performance of the functions of deposition and conservation of carbon. This is achieved through the use of methodological provisions for a reasonable choice of types and options for the technological organization of sites – forestry objects and technological processes for maintaining forests and forest management, which make it possible to most accurately implement forestry impacts on forest ecosystems, provided for by the relevant types of measures.

Key words: technologies of silvicultural activities, deposition and conservation of carbon, technological organization of the territory of the site.

For citation: Zheldak V., Doroshenkova E., Sycheva A., Lipkina T., Zhivaev E. Technological Realization Silvicultural Activities that Ensure the Effective Performance of the Functions of Carbon Deposition and Conservation by the Forest. – Text : electronic // Forestry information. 2023. № 3. P. 5–25. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.01. <https://elibrary.ru/erigwa>.

¹ Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Manager laboratory, Senior Researcher (Pushkino, Moscow Region, Russian Federation), lesvig@yandex.ru

² Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Deputy Manager of Department (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), forestvniilm@yandex.ru

³ Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Lead Engineer (Pushkino, Moscow Region, Russian Federation), sicheva8@inbox.ru

⁴ Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Junior Researcher (Pushkino, Moscow Region, Russian Federation), ltv84@bk.ru

⁵ Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Lead Engineer (Pushkino, Moscow Region, Russian Federation), zhivaev-ee@yandex.ru

Введение

Осуществление формируемого в последние десятилетия комплекса мер смягчения изменений климата и его последствий предусматривается не только за счёт сокращения эмиссии парниковых газов в атмосферу, но и за счет использования мероприятий по сохранению лесов, повышению их продуктивности, увеличению поглощения и консервации углерода лесными экосистемами [1–3]. При этом реализация разрабатываемых в данных целях лесоводственных мероприятий обеспечивается в рамках совершенствования их законодательного регулирования и нормативно-правового регламентирования при адекватном применении их на практике с использованием соответствующих им эффективных технологий [4].

В сложившейся на протяжении многих десятилетий XX в. системе ведения лесного хозяйства и лесопользования мероприятия охраны, защиты, воспроизводства лесов, в том числе лесовосстановления и рубок ухода, а также рубок главного пользования, рассматриваемых обычно в качестве особой лесоводственной системы для обеспечения возобновления леса и заготовки древесины, направленные на решение определенных общественно значимых задач, осуществлялись на практике применением соответствующих технологий, представляющих совокупность технологических операций, выполняемых в определенной последовательности на конкретных элементах участка, с использованием необходимых технических средств – машин, механизмов, инструментов [5–7]. Наиболее четко разделены понятия «мероприятия» – «технологии» и отражаемых ими сущностей выделялось в системе рубок ухода (осветлений, прочисток, прореживаний, проходных рубок), а также рубок главного пользования (разных видов выборочных постепенных, сплошных) и, соответственно, технологий разработки лесосек или лесосечных работ – широкопосечной, среднепосечной, узкопосечной, беспосечной и других [5, 6, 8–11]. В принципе этот подход сохраняется и в современных исследованиях,

связанных с разработкой и совершенствованием технологий заготовки древесины или лесосечных работ, – рубок спелых, перестойных древостоев, рубок ухода (независимо от меняющихся названий), в том числе в целях создания природоохраняющих технологических процессов, максимально сохраняющих природную среду, молодые поколения леса, оставляемую целевую часть насаждения при уходе за лесом [11–14].

При комплексном рассмотрении влияния лесозаготовок на состояние и динамику лесов, выполнения лесами биосферных и ресурсных функций, в том числе с учетом сохранения важнейших компонентов лесных экосистем, биоразнообразия, особенно почвы – исключение ее сильного уплотнения, разрушения структуры, образования колеи, развития эрозии, тем более в горных условиях, причем не только в бореальной, но и в тропической зоне, – неизбежно проявляется определяющее действие технико-технологических факторов механизированной заготовки древесины [15–19]. При этом сохраняет актуальность и разработка методов, а также технологий рубок лесных насаждений с использованием аэростатно-канатных систем изъятия деревьев из насаждений [20].

В течение многих десятилетий накоплены научные разработки и практический опыт эффективного применения различных видов мероприятий по рубкам главного пользования, рубкам ухода, лесовосстановлению, охране и защите лесов, а также по технологиям осуществления этих мероприятий [5–7, 21–23]. Это не исключало в то же время рассмотрения понятия «технологии» в более широком – общем плане, включающем фактически обе составляющие ее, выделенные как самостоятельные в более узком понимании – «мероприятия» и «технологии». Особенно часто это проявлялось в лесовосстановлении, а также охране и защите лесов. При таком расширенном толковании и фактическом содержании технологических процессов применением их предусматривалось и решение общественно значимых задач соответствующих мероприятий [7, 22, 23]. Широкое понятие «технологии» используется, по существу, и в утвержденной Правительством

Российской Федерации «Концепции технологического развития на период до 2030 года»¹.

Однако в трактовке действующего Лесного кодекса РФ рубки лесных насаждений, в состав которых неизбежно входят, кроме прочих рубок или рубок, не связанных с созданием лесной инфраструктуры, и лесоводственные рубки (являющиеся мероприятиями лесовоспроизводства, охраны и защиты лесов), определяющиеся в общем комплексе как технологические процессы, причем в редакции 2021 г. – в результате которых «образуется древесина в виде лесоматериалов...» (часть 1 статьи 23.1). Такое определение рассматриваемых мероприятий безусловно значительно сужает решаемую ими задачу, исключая ее основные составляющие – обеспечение санитарной и пожарной безопасности, смены поколений леса, ухода за лесом (формирования, сохранения, обновления целевых насаждений) и, соответственно, поддержание насаждений в состоянии эффективного выполнения и климаторегулирующих функций, депонирования, консервации углерода. В целом эти положения Лесного кодекса РФ необходимо существенно корректировать с разделением понятий лесоводственных рубок лесных насаждений и их технологий – разработки лесосек (или технологических процессов лесосечных работ – в трактовке Кодекса) и в то же время определить их неразрывную иерархическую связь [4, 6, 11].

С учетом уточнения содержания понятий технологий лесоводственных рубок (в составе рубок лесных насаждений), как и других мероприятий воспроизводства, охраны, защиты лесов и лесопользования, и, соответственно, отражаемых ими реальностей в рамках решения проблемы смягчения изменений климата и его последствий, необходимо определить возможности совершенствования технологического обеспечения реализации лесоводственных мероприятий, в том числе для повышения эффективности выполнения лесом функций депонирования и консервации углерода.

Цель работы – сформировать методические положения совершенствования применения

технологий лесоводственных мероприятий, обеспечивающих наиболее полную (адекватную) реализацию на практике заложенного в них потенциала воздействия на лесные экосистемы, в целом объекты лесоводства для эффективного выполнения ими углерододепонирующих, углеродоконсервационных, климаторегулирующих и других экологических функций.

Для достижения цели решены следующие задачи:

- ✓ выделены исходные лесоводственные принципы технологического обеспечения реализации лесоводственных мероприятий и их систем, формируемых с учетом решения актуальных вопросов повышения эффективности выполнения лесами климаторегулирующих функций;
- ✓ сформированы методические положения сбалансированного иерархического учета специфики типов функционально-целевой карбоновой системы объектов лесоводства в рамках основного целевого назначения лесов при создании и использовании технологической сети участков и применении технологий лесоводственных мероприятий;
- ✓ установлены методические принципы выбора вариантов технологий лесоводственных мероприятий и закладки базовой постоянной технологической организации территории участков с учетом их специфики, необходимости эффективного взаимосвязанного осуществления всех стадийных и внестадийных мероприятий по циклам лесовоспроизводства.

Материалы и методы исследования

Решение поставленных задач осуществлялось с использованием базового системного метода лесоводства, определяющего дифференцированное и в то же время взаимосвязанное рассмотрение вопросов совершенствования

¹ Распоряжение Правительства РФ от 20.05.2023 № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года» (вместе с «Концепцией технологического развития на период до 2030 года»).

лесоводственных мероприятий – стадийных и внестадийных по циклам лесовоспроизводства и, соответственно, технологий реализации их на практике, в том числе с учетом многообразия природных и других условий, существенно влияющих на выбор и содержание технологических процессов и технологической организации территории участков, а также целевого назначения лесов (ЦНЛ) и достижения целей повышения эффективности выполнения лесами функций депонирования и консервации углерода. При этом устанавливались также необходимость и направления возможной корректировки технологической реализации лесоводственных мероприятий с учётом специфики выделенных типов функционально-целевой «карбоновой» системы объектов лесоводства, сформированной на основе существующей лесоводственной классификации лесов (объектов лесоводства) по целевому назначению, не противоречащей принципиально законодательному делению лесов на виды – эксплуатационные, резервные, защитные леса, категории защитных лесов.

На основе такого методологического подхода определены базовые узловые технологии мероприятий лесовоспроизводства (ЛВП), лесоводственных рубок (ЛВРбк) по циклам ЛВП, дополняемые множеством вариантов технологий и технологической организации территории, охватывающих все многообразие участков – объектов лесоводства, применяемых на них видов и вариантов лесоводственных мероприятий, технологий их реализации. При этом с использованием установленных базовых технологий и технологической организации территории сформирован методический подход последовательного системного выбора основных и дополняющих вариантов технологий, закладки и использования сети постоянных и временных технологических коридоров для оптимально доступной реализации лесоводственных мероприятий и их систем, обеспечивающих поддержание лесов в состоянии эффективного выполнения ими целевых экологических, в том числе климаторегулирующих, функций. Объектом и предметом изучения является технологическое обеспечение

(технологии) реализации лесоводственных мероприятий и их систем. В качестве *материалов* для решения поставленных задач использовались данные литературных источников, положения законодательства и нормативных правовых документов, разработки лесоводства по технологиям лесоводственных рубок и других мероприятий.

Результаты и обсуждения

1. Выделение исходных лесоводственных принципов технологического обеспечения реализации лесоводственных систем мероприятий, формируемых с учетом решения актуальных вопросов повышения эффективности выполнения лесами климаторегулирующих функций

Поскольку, согласно приведенным материалам, достижение цели смягчения изменений климата и его последствий, увеличения депонирования и консервации углерода лесными экосистемами базируется, по существу, на решении традиционных вопросов положительного влияния лесоводственных мероприятий и технологий их реализации на продуктивность лесных насаждений, результативность которых проявляется спустя продолжительное время, а по циклам ЛВП – многие десятилетия, объективную оценку их эффективности можно дать на основе данных периодического учёта, мониторинга состояния лесов и многолетних исследований, отражённых в литературных источниках. При этом непосредственное значение для решения современных задач повышения эффективности выполнения лесом климаторегулирующих функций, связанных с депонированием и консервацией углерода, имеют данные по оценке применяемых в прошлом и существующих технологий реализации соответствующих видов мероприятий, особенно рубок ухода, влияющих на динамику прироста древостоев (депонирование углерода). Следовательно, получение эффекта зависит от качества технологий этих мероприятий, в первую очередь технологий разработки лесосек (лесосечных работ), а также параметров и сроков технологической организации участка (ТОУ) – создания сети

технологических коридоров, волоков, обеспечивающей доступность выборки нежелательных деревьев при проведении рубок ухода без уничтожения и повреждения лучших и вспомогательных, оставляемых на выращивание [5, 8, 24].

Особое значение в технологическом обеспечении реализации лесоводственных систем имеет технологическая организация лесного участка для проведения ухода за лесом и связанных с ним по всему циклу ЛВП мероприятий лесовосстановления, охраны и защиты лесов. При этом, учитывая большую продолжительность выращивания насаждений самых коротких циклов лесовоспроизводства, даже на участках приоритетно-моноцелевого назначения, депонирования углерода (в пределах нескольких десятилетий лиственных и тем более хвойных пород), созданная технологическая сеть должна быть максимально универсальной, в которой могут использоваться (с высокой вероятностью) новые машины, технические средства, постоянно совершенствуемые, в значительной мере определяющие сущность технологий, способы, состав и порядок выполнения всех технологических операций.

В качестве основных в комплексе природных условий и технических характеристик машин (или обобщенно технологических факторов), определяющих параметры технологической сети и время её создания, можно выделить следующие: производительность древостоев; густоту – количество деревьев на единице площади; их величину – в частности высоту деревьев и полог древостоя в целом; технологическую доступность вырубаемых деревьев при сохранении лучших, вспомогательных; возможность рубки (срезания) деревьев машиной, передвигающейся по технологическому коридору, которая определяется максимальным вылетом ее манипулятора с рабочей головкой, в том числе с учетом ограниченного продвижения его между деревьями, грузоподъемностью на максимальном вылете манипулятора, тем более при выносе или вытаскивании – вытрелевке вырубаемых даже мелких деревьев, хлыстов, сортиментов без повреждений оставляемых на выращивание деревьев. Передвижение машин под пологом, в том числе

небольших по размерам и весу, крайне ограничено не только по экологическим причинам (требованиям), но и по технической возможности переместить (вывезти) даже небольшое количество древесины (короткомерных сортиментов) между деревьями без повреждений их стволов, корневых систем, отрицательного воздействия на почву.

Необходимые для решения задач адаптации лесов и лесного комплекса к изменяющимся и, следовательно, будущим условиям – перспективы использования существующих и новых технологий лесоводственных мероприятий, в первую очередь узловых, можно определить с большой вероятностью на основе анализа развития технических средств и технологий рубок лесных насаждений (лесосечных работ) на протяжении столетия: от технологий на основе ручных инструментов – валки деревьев, обрубки сучьев и ветвей, разделки стволов/хлыстов на сортименты, трелевки деревьев, хлыстов, сортиментов гужевым транспортом (с использованием животных) – до так называемой традиционной механизированной технологии с выполнением, по существу, всё тех же технологических операций с помощью мотопил и трелевочных тракторов и затем кардинального изменения технологических процессов выборочного изъятия деревьев из насаждений, их обработки до целевых продуктов (сортиментов, щепы и т.п.) машинами манипуляторного типа на лесосеке – механизированные технологии на базе многооперационной техники. Реальной принципиальной альтернативы такого типа технологии лесоводственных рубок на перспективу, вероятно несколько десятилетий (не менее половины столетия), не прогнозируется при ее безусловном совершенствовании, роботизации, автоматизации выполнения тех же или подобных операций и их сочетаний (в том числе создания совершенных своеобразных «комбайнов», особенно для ухода в молодняках с заготовкой щепы, др. продуктов, а также типа харвардеров и т.п.).

При сохранении сложившихся тенденций развития современной многооперационной лесной техники и технологий рубок лесных насаждений,

в том числе внутрилесосечной транспортировки сортиментов древесины и других технологических предметов, с переработкой биомассы вырубаемых деревьев на месте в определенные продукты, удобные для транспортировки, и/или оставление для длительного (замедленного) разложения, соответственно, и для консервации углерода, а также сохранения плодородия почвы и достижения иных природоохранных целей, неизбежно потребуются транспортно-технологическая сеть (инфраструктура) в лесу, обеспечивающая, по существу, доступность любой точки территории, при осуществлении качественного ухода за лесом, выполнении всех лесоводственных мероприятий, в том числе и в противопожарных и иных целях.

С учетом результатов исследований и разработок в области технологического обеспечения лесоводственных мероприятий и их систем для участков – объектов лесоводства (ЛВО) различного целевого назначения в качестве базовой технологической организации участков, в том числе климаторегулирующего назначения – максимального сохранения и использования углерододепонирующего потенциала лесных экосистем, целесообразно принять ТОУ узкопосечных технологий лесоводственных рубок содержания лесов и лесопользования (СЛП) с созданием сети технологических коридоров (ТхлКр), преимущественно постоянного типа, в насаждении с расстоянием 14–20 м между основными ТхлКр.

Учитывая сложившиеся условия и прогнозы технико-технологического развития, обеспечения реализации системных лесоводственных мероприятий, а также значительное различие преобладающих древостоев по производительности, параметрам деревьев – высоте, диаметру и другим технологообразующим факторам, целесообразно дифференцировать принятую в качестве базовой (типичной) узкопосечную технологическую организацию участков как минимум в двух вариантах с расстояниями между пасечными коридорами в среднем 14 или 16 м соответственно для низкопроизводительных (IV класс бонитета и ниже) или средне- и высокопроизводительных древостоев (III класс бонитета

и выше). С учетом изменяющихся параметров древостоев – возраста, высоты и других, а следовательно, и вырубаемых деревьев – расстояние между коридорами может уменьшаться (за счет прорубки между основными дополнительными) или увеличиваться в 2–3 раза, в основном соответственно до 7 или 8 м для молодняков и 28 или 32 м для спелых, перестойных древостоев, а также участков природоохранного и иного назначения, на которых нежелательно создавать или/и использовать более густую технологическую сеть (уже существующих коридоров, просек, дорог и прочих элементов организации территории, которые временно можно использовать и в технологических целях для проведения лесоводственных мероприятий).

Созданная исходя из приведенных принципиальных положений технологическая сеть ТхлКр участков любого, в том числе углерододепонирующего, целевого назначения обеспечивает возможность применения на каждой стадии лесовыращивания различных (наиболее эффективных и доступных) технологий ухода за лесом, смены спелых, перестойных насаждений (поколений леса), санитарных, противопожарных и других мероприятий, в том числе в зависимости от наличия конкретной техники у исполнителя. При этом для достижения целей максимального сохранения производительности и прироста древостоев (обеспеченного потенциалом лесорастительных условий, биологическими свойствами лесобразующих пород, формируемых ими насаждений) и, соответственно, объема депонирования углерода на каждом этапе и за весь период лесовыращивания на участках приоритетно-углерододепонирующего назначения и всех типов функционально-целевой «карбоновой» системы объектов лесоводства (ФЦКЛВО) закладка технологических коридоров должна осуществляться на стадии возобновления (восстановления) леса или в молодняках, преимущественно первого класса возраста, когда благодаря исходному большому количеству деревьев и потенциалу их роста пространство, освободившееся при прокладке коридора (волока), и почвы в его границах быстро осваиваются деревьями (кронами и корневыми

системами), растущими вдоль коридора, без снижения производительности и общей массы прироста древостоя. По существу, достижение того же результата обеспечивается при закладке постоянной сети технологических коридоров при смене поколений леса – лесоводственных рубках лесовозобновления, обновления, переформирования, реконструкции насаждений, а также сплошных санитарных (точнее санитарно-лесовосстановительных) рубках.

При необходимости обязательного проведения рубок ухода и других мероприятий в насаждениях старших возрастов (в том числе смешанного породного состава – хвойных и мягколиственных) целесообразно осуществлять прокладку непрямолинейных технологических коридоров по среднепасечной схеме ТОУ преимущественно за счёт вырубki нежелательных деревьев, максимально сохраняя лучшие. Как правило, при постоянном использовании технологических коридоров не исключается целесообразность в отдельных случаях замены их, в частности для сохранения появившегося в коридорах возобновления ценных пород в процессе смены поколений леса. В то же время не допускается прокладка новых технологических коридоров (волоков) в связи с сильным нарушением прежних (без покрытия почвы порубочными остатками, её уплотнением, застоем воды, образованием колеи и т.п.), что в целом ведёт к ухудшению лесорастительных условий и производительности выращиваемых насаждений. Реализация этого принципиального подхода осуществляется для всех лесоводственных объектов ЦНЛ с учетом специфики исходных и целевых участков, включаемых в определенные типы ФЦКЛВО, в том числе первых двух типов – фонд приоритетного «углерододепонирующего лесовыращивания».

2. *Учет специфики типов ФЦКЛВО в рамках основного целевого назначения лесов при создании и использовании технологической сети участков и применении технологий лесоводственных мероприятий*

Учитывая накопленные научные данные исследований и разработки в области технологического обеспечения лесоводственных

мероприятий, в том числе в современный период [12, 14–16, 25–28], *достижение целевого эффекта увеличения депонирования углерода, его консервации* путем применения систем лесоводственных мероприятий, соответствующих выделенным типам исходных и целевых объектов сформированной ФЦКЛВО, *возможно только при адекватной реализации их на практике путем применения определенных технологий*, особенно рубок лесных насаждений – рубок ухода и рубок смены поколений леса (одновозрастных древостоев) в сочетании с лесовосстановлением и другими системными лесоводственными мероприятиями.

Выбор типов, видов технологического устройства участков леса – объектов лесоводства, определяемый их природными свойствами – соответственно с таксационной характеристикой и основным целевым назначением (согласно лесоводственной классификации ЦНЛ) при необходимости и возможности корректируется в целях сохранения или усиления дополняющей приоритетной функции депонирования и консервации углерода по типам ФЦКЛВО, а для первых двух типов – моно и 2–3-целевого приоритетного углерододепонирующего назначения – основной целевой функции насаждений, создаваемых преимущественно на нелесных землях.

При этом достижение дополняющей цели путем применения соответствующей ТОУ и совокупной технологии лесоводственных мероприятий, в первую очередь рубок ухода и смены поколений леса, более или менее постоянного поддержания насаждений в состоянии интенсивного роста, накопления и сохранения запаса древесины, биомассы, обеспечивается в диапазоне характеристик участка леса, при которых наиболее эффективно выполняются и основные (первоприоритетные) функции – защитные, водоохранные и другие по классификации ЦНЛ. В частности, для участков категорий защитных лесов оздоровительного (рекреационного) назначения, эффективно выполняющих рекреационные функции в форме полуоткрытых ландшафтов, усиление углерододепонирующей роли возможно только в рамках оптимальных параметров рекреационных насаждений, а также

соответствующей им рекреационной организации территории с установленным (проектным) количеством дорожек, троп и других элементов, при которой их можно эффективно использовать по основному назначению и в допустимом режиме в качестве технологических коридоров (элементов технологической инфраструктуры участков).

Для участков первых двух типов ФЦКЛВО приоритетного углерододепонирующего назначения, которые могут быть выделены в отдельную категорию и также отнесены к лесоводственному типу ЦНЛ – «леса, участки лесных насаждений экологического средообразующего назначения» при отсутствии ограничивающих факторов – может применяться приведенная типовая технологическая сеть участков, заложенная при смене поколений леса, на стадии лесовосстановления, в молодняках для исключения потерь потенциальной продуктивности выращиваемого насаждения и в то же время эффективного осуществления всех видов лесоводственных рубок и других мероприятий (узкопосечные с шириной пазек 16 или 14 м соответственно производительности древостоев). При такой организации территории на стадии молодняков, в том числе лесных культур, посечные технологические коридоры, заложенные поперек рядов культур, на всех последующих стадиях замкнутого цикла лесовоспроизводства могут использоваться для применения эффективных технологий лесоводственных мероприятий, в первую очередь рубок ухода на базе многооперационной техники (типа «харвестер – форвардер») или «мотопилы – форвардеры» со сбором и подвозкой сортиментов без повреждений деревьев, оставляемых на выращивание в оптимальном количестве для обеспечения интенсивного роста при реализации полной природной производительности древостоев в данных лесорастительных условиях (исключая ее снижение).

На участках третьего типа ФЦКЛВО многоцелевого ресурсно-экологического и эколого-ресурсного и составляющего приоритетного углерододепонирующего и углеродоконсервационного назначения, относящихся в общей

лесоводственной классификации ЦНЛ к типичным и ограниченно эксплуатационным лесам (в прошлом – лесам третьей и второй групп), не имеющим особых ограничений СЛЛП, в целях повышения (поддержания на высоком уровне) эффективности выполнения лесами составляющей приоритетной климаторегулирующей функции при применении практически всех эффективных для эксплуатационных лесов технологий, целесообразно наиболее четко выполнять лесоводственные требования по закладке технологической сети, выбору вариантов технологий и технических средств рубок ухода, смены поколений леса, санитарных и других лесоводственных рубок для исключения потерь прироста, продуктивности насаждений.

Для достижения этих целей (в отличие от существующего варианта проведения рубок лесных насаждений по разным технологическим схемам ТОУ, в том числе без прокладки волоков, особенно при выборочных санитарных рубках) необходимо строго соблюдать требования создания постоянной сети технологических коридоров на стадии закладки насаждений (в том числе лесных культур) или образования и формирования молодняков (первого класса возраста), использовать только технологии, обеспечивающие наиболее точную реализацию оптимальных вариантов лесоводственных мероприятий (по видам, методам, способам), максимально исключая повреждения выращиваемых деревьев или их уничтожение, а также и оставление при проведении ухода «исключительно нежелательных», сдерживающих (отрицательным влиянием) рост лучших деревьев с нереализованным потенциалом увеличения прироста и в древостоях старших возрастов.

Наиболее эффективными для достижения всего комплекса приоритетных целей, в том числе ресурсных (получение древесины высокого качества в существующей системе эксплуатационных лесов), а в рамках использования, перспективного применения лесоводственной классификации ЦНЛ наиболее приоритетных – глобальных и региональных экологических [4], в том числе климаторегулирующих (смягчающих изменения

климата и его последствий), – являются типичные узкопосечные технологии лесоводственных рубок с заготовкой (сбором и подвозкой) короткомерных сортиментов. В то же время на участках с отмеченными и другими природными особенностями и хозяйственно-экономическими возможностями (в том числе заложенной ранее в разных вариантах технологической сетью) целесообразно осуществлять применение вариантов технологий, максимально обеспечивающих достижение поставленных целей в сложившихся условиях.

На участках четвертого типа ФЦКЛВО – приоритетного экологического и сопутствующего ресурсного назначения, а также сопутствующего приоритетного углеродоконсервационного, в меньшей мере углерододепонирующего значения, большей части категорий защитных лесов, не имеющих строгих ограничений лесоводственного (хозяйственного) воздействия на лесные экосистемы, выделенных лесоводственных типов ЦНЛ: средообразующего (в лесостепной зоне), водоохранного (запретные полосы вдоль водных объектов), природозащитного (равнинные части участков противозерозионных лесов и др.) – достижение дополняющих целей сопутствующего углеродоконсервационного назначения обеспечивается в основном небольшими корректировками, вносимыми при необходимости в базовые для этих объектов ЦНЛ технологии, при которых фактически и реализуется непрерывное поддержание насаждений в состоянии динамического эффективного выполнения функций средообразования, в том числе за счет стабильного прироста сменяемых, преимущественно выборочными рубками обновления поколений леса, накопления биомассы, сохранения почвенного плодородия с постепенным разложением «опада» и «отпада» деревьев, следовательно пополнения почвенного пула углерода (его консервации).

Для оптимального технологического обеспечения лесоводственных мероприятий, проводимых на участках пятого типа ФЦКЛВО сопутствующего приоритетного специального углеродоконсервационного назначения, к которым относятся в основном объекты лесоводства

ЦНЛ, имеющие преимущественно приоритетное природоохранное значение (большая часть лесов ООПТ, другие сходные по режиму СЛЛП – защитных и даже эксплуатационных лесов, а также не подлежащие освоению в существующей системе – резервных, выполняющих важнейшие природоохранные функции), с учетом достижения установленных сопутствующих приоритетных целей может потребоваться также незначительная корректировка точности исполнения рекомендуемых для этих объектов ЦНЛ технологий. Она сводится в основном к исключению применения используемых на практике в этих лесах технологических процессов, не соответствующих их приоритетному назначению в рамках ЦНЛ (в частности, технологии рубок лесных насаждений с трелевкой хлыстов и т.п.). С учётом комплексной доступности участков для осуществления необходимых лесоводственных рубок ухода, в том числе смены поколений леса – обновления насаждений, восстановления утраченных по разным причинам насаждений (пожары, патология, не эффективное хозяйственное воздействие), целесообразно при своевременной закладке технологической сети использовать в основном в разных вариантах среднепосечные или близкие к ним технологии, базирующиеся на технологической сети, включающей существующие дороги и просеки различного назначения (исключая их повреждение), соединенные недостающими технологическими элементами (коридорами), вписывающимися в общую многофункциональную инфраструктуру участка.

Варианты технологий выбирают не шаблонно, в том числе по категориям защитных лесов, а с учетом конкретных свойств и специфики характеристик участков, относящихся к соответствующей категории, установленной законодательством, нормативными правовыми документами или согласно комплексному лесоводственному типу ЦНЛ, объединяющему обычно несколько категорий и многие особо защитные участки лесов. В частности, на массивных участках запретных полос вдоль водных объектов на части площади, удаленной от водного объекта (за пределами выделяемой

обычно водоохранной зоны – 100–200 м), могут эффективно применяться узкопосечные технологии лесоводственных рубок, в то время как на территории водоохраных зон, прибрежных участков (независимо от их формального выделения) применяют, как правило, среднепосечные технологии с технологическими коридорами, закладываемыми на 25–30 м от берега (полосы прибрежного участка), а магистральные коридоры прокладывают по возможности за фактической границей водоохранной зоны – 100–200 м от береговой линии.

Создаваемая технологическая сеть (инфраструктура) участка имеет многоцелевое назначение для выполнения всех мероприятий: противопожарных, защитных, мелиоративных и других. Соответственно подбирают и технологии, обеспечивающие эффективное выполнение мероприятий, в том числе лесовосстановления, создания противопожарных и противопатологических барьеров, прокладки при обоснованной необходимости мелиоративных каналов и т.п.

На участках *шестого типа ФЦКЛВО преимущественно углеродоконсервационного, в целом углеродорегулирующего, климаторегулирующего значения собственно резервных лесов* (исключая участки фактически природоохранных лесов – пятого типа) при переводе их в объекты активного использования, в том числе в рамках климатических проектов, проектируются и применяются технологии соответствующих видов эксплуатационных и категорий защитных лесов, в которые они включаются соответственно их природным свойствам, расположению и другим определяющим признакам, возможно и на постоянной или временной основе в объекты специального углерододепонирующего назначения (моно и 2–3-целевого). При освоении таких исходных участков временно для выращивания «карбоновых насаждений», особенно на один или часть цикла лесовоспроизводства, в частности лиственно-хвойных насаждений, *целесообразно осуществлять технологическую организацию их территории с учетом последующего использования в режиме объектов основного лесоводственного вида ЦНЛ* для исключения потерь продуктивности и других

целевых свойств лесных экосистем, сменяющих временные.

На участках *лесов зон промышленного и радиоактивного загрязнения, выделенных в тип объектов ФЦКЛВО особого сопутствующего углеродоконсервационного назначения*, с учетом установленных мер радиационной безопасности, используются практически те же эколого-лесоводственные требования к созданию технологической сети участков и применению технологий, что и на других объектах, приоритетного дополнительного углеродоконсервационного и в целом климаторегулирующего назначения, включающие использование сети постоянных технологических коридоров, исключение сжигания порубочных остатков при проведении рубок ухода, включая смену поколений леса, строгое соблюдение других мер пожарной безопасности, применение технологий лесовосстановления, непосредственно связанных с рубками, а также при утрате древостоев по разным причинам, с максимальным использованием технологических операций реализации локальных мер содействия естественному возобновлению лесобразующей растительности и создания лесных культур, особенно в условиях с легкими песчаными почвами – при необходимости, преимущественно с дискретной обработкой почвы или без обработки, а в условиях переувлажненных почвогрунтов с созданием локальных микроповышений и желательной посадкой сравнительно крупномерных растений как при содействии лесовозобновлению, так и при закладке лесных культур.

3. Методические принципы выбора вариантов технологий лесоводственных мероприятий и технологической организации участков с учетом специфики их природных свойств и многоцелевого назначения

Поскольку технологиями лесоводственных мероприятий должна обеспечиваться более или менее полная адекватная реализация их на практике, учитывая имеющие место результаты отрицательного влияния определённых технологий рубок лесных насаждений на состояние, устойчивость и продуктивность лесных экосистем,

одним из основных направлений улучшения совокупной системы технологий содержания лесов и лесопользования, в том числе для решения климатических вопросов повышения уровня депонирования и консервации углерода, является совершенствование выбора и практического применения как новых, так и существующих технологических процессов разработки лесосек. При этом эффективное применение технологий в значительной мере достигается при соответствующей технологической организации территории участка.

С учетом приведенных принципов технологического обеспечения реализации лесоводственных мероприятий и известных закономерностей динамики роста, текущего и среднего прироста древостоев с возрастом (следовательно и депонирования углерода), в целях исключения его потерь при ТОУ, *создание постоянной сети технологических коридоров* на исходных участках, включенных в фонд «углерододепонирующего лесовыращивания», а при доступности и на участках всех других типов ФЦКЛВО, *осуществляется на стадии образования молодняков или начала их формирования* (осветлений, прочисток), *даже при отсутствии потребности транспортировки по ним вырубаемых деревьев или других продуктов* (технологических предметов). Расстояние между базовыми технологическими коридорами узкопосечной (и среднепосечной) технологии устанавливается соответственно производительности древостоев – 14 (28) м – низкой (IV класс бонитета и ниже), 16 (32) м – средней и высокой (III класс бонитета и выше). При большом исходном количестве деревьев на единице площади молодого поколения (превышающем нередко в несколько раз необходимое для формирования целевого насаждения) оно может быть уменьшено в 2–3 раза за счет дополнительного схематического разреживания (при отсутствии экологических и др. ограничений) путем прорубки 1–2 дополнительных коридоров между базовыми ТхлКр, с расчётом сохранения на участке достаточного количества молодых деревьев для формирования высоко- или среднеполнотного древостоя.

В образовавшихся узких полосах между технологическими коридорами шириной около 10–11 м или 12–13 м или с дополнительным схематическим разреживанием значительно меньше – при сохраняющемся излишнем количестве деревьев (в расчете на 1 га общей площади), а также и нежелательной дифференциацией их – распределением в верхней и нижней частях полога, дополнительно к схематическому – осуществляется выборочный уход за лучшими деревьями, в том числе в отдельных местах полос. В зависимости от наличия технических средств выборочное удаление нежелательных деревьев может осуществляться мотоинструментами или машинами манипуляторного типа со сбором их в пачки и подвозки для переработки и использования (в объеме, не превышающем максимально допустимого изъятия биомассы из экосистемы). Остальная масса вырубаемых деревьев разделяется на части и приземляется на месте для перегнивания, укладывается на волокна для их укрепления, предотвращения сильного уплотнения и нарушения почвы (особенно слабодрированной, влажной, переувлажненной), а также и сокращения повреждений корневых систем деревьев, растущих вдоль волока. Соответственно, в проектах ухода за лесами в целях повышения уровня депонирования и консервации углерода при заготовке только сортиментов для переработки, предусматривается порубочные остатки, а при уходе в молодняках все вырубленные деревья (разделенные на части) в зависимости от лесотипологических условий и рекомендуемых мер по очистке лесосек оставлять на длительное перегнивание (временную консервацию углерода непосредственно на участке).

Если в сложившихся условиях по техническим, экономическим и иным причинам заготовка и подвозка (перемещение) вырубленных тонкомерных деревьев, биомассы для переработки не осуществляется, то закладка технологических коридоров и, соответственно, схематическое разреживание (перегущенных) молодняков может осуществляться для проведения последующих уходов без прокладки коридоров – ведущей к снижению (потерям) общего прироста древостоев.

Схематическая рубка в перегущенных молодняках используется также для существенного снижения затрат на выборочную рубку – изъятие большого количества мелких деревьев, тем более не используемых.

На участках лесных культур, в том числе созданных в прошлом на сельскохозяйственных полях с низкоплодородными почвами, а также выделенных на землях лесного фонда для использования в качестве объектов временного или постоянного выращивания лесных насаждений углерододепонирующего назначения на стадии молодняков для обеспечения возможности применения любой технологии в настоящем и планируемых в будущем, закладка сети технологических коридоров осуществляется с расположением их в направлении перпендикулярно направлению рядов лесных культур. Наличие такой технологической сети обеспечивает значительно лучшую доступность вырубаемых деревьев (чем в вариантах традиционного использования для технологических коридоров междурядий, в том числе с вырубкой в этих целях и отдельных рядов культур). Это достигается как при использовании технологий рубок ухода на базе традиционной техники с валкой деревьев в междурядья и подтрелевкой сортиментов по ним к технологическому коридору с последующим сбором – погрузкой и подвозкой их машинами с погрузочным устройством (типа форвардер), так и технологий с применением многооперационных машин типа харвестеров – с беспрепятственным перемещением рабочей головки манипулятора по междурядью с подведением ее практически к любому намеченному в рубку дереву в соседних рядах культур, срезанием, выносом или валкой в междурядья, обрезкой сучьев и ветвей, раскряжевкой стволов на сортименты, сбором и подвозкой их форвардером.

При смене спелых и перестойных поколений леса, древостоев, преобразовании нецелевых сложных двухъярусных лиственно-хвойных насаждений типично и ограниченно эксплуатационных лесов, а также отдельных категорий защитных лесов в целевые углерододепонирующего назначения (временно или на постоянной

основе) для максимального достижения цели – создания (в результате рубок ухода переформирования) молодняков с максимально возможным приростом, в том числе и на всех последующих стадиях формирования насаждений – жердняков, средневозрастных, а также приспевающих, одновременно осуществляется создание постоянной сети технологических коридоров (если она не была заложена раньше) или необходимое изменение, корректировка уже имеющейся (что сократит в последующем потери части молодых деревьев – элементарных объектов прироста).

В связи с большим разнообразием природных условий, свойств участков лесных экосистем и их целевого назначения, которые необходимо учитывать при закладке на них технологической сети, определяющих, по существу, применение технологий, обеспечивающих наиболее адекватную реализацию эффективных системных лесоводственных мероприятий по всему циклу лесовоспроизводства, наличием на многих участках технологических коридоров, проложенных в прошлом по разным технологическим схемам, а также дорог, просек, других элементов организации территории, которые можно рационально (в том числе временно, ограниченно) использовать при проведении лесоводственных мероприятий, в первую очередь рубок лесных насаждений, *для достижения максимального эффекта – сохранения продуктивности насаждений – целесообразно, наряду с типичной, предусмотреть возможность многовариантной технологической организации территории* конкретных участков, в том числе с учетом наличия технических средств, перспектив их обновления, смены на другие, более совершенные типы.

Новая технологическая сеть (при отсутствии природных, экологических, технологических и других ограничений) закладывается на основе приведенных общих принципиальных положений – с расстоянием между базовыми технологическими коридорами 16 или 14 м в зависимости от производительности древостоев, с замыканием их магистральным – с одной стороны (на небольших участках), примыкающим к технологическому пункту, на больших по площади

участках – с двух сторон через 250 м (четверть протяженности квартала с общей длиной границ 1 км). В конкретных условиях иной квартальной сети магистральные технологические коридоры (волоки) закладывают с расстоянием между ними 200–300 м.

На участках с заложенными в прошлом технологическими коридорами с расстоянием между ними, не превышающим 20 м, технологическую сеть целесообразно сохранять. При расстоянии между коридорами, превышающем этот показатель (обычно – 25, 30, 35 или 40 м), существующие технологические коридоры дополняют новыми, прокладываемыми посередине имеющихся технологических полос (по существу, по границам заложенных в прошлом пасек).

На участках с насаждениями естественного происхождения, где пасечные технологические коридоры были проложены через 30–40 м, в том числе с примыканием под острым углом к магистральным, замыкающих их с одной или двух сторон в расчете на применение технологий с трелевкой длинномерных сортиментов или хлыстов за вершины на базе традиционной техники («мотопилы – трелевочники»), созданная технологическая сеть может использоваться как в варианте применения той же технологии и технологических средств, так и при переходе на технологии на базе многооперационной техники (харвестер – форвардер), но с прокладкой дополнительных пасечных коридоров параллельно существующим – с разделением широких технологических полос на две узкие шириной 15–20 м. При этом в насаждениях средневозрастных и старших возрастов (как и в типичном варианте) прокладывают непрямолинейные дополнительные коридоры или используют технологии на базе многооперационной техники с технологическими ходами харвестера посередине каждой широкой технологической полосы в варианте с вырубкой нежелательных деревьев, разделкой их стволов и укладкой сортиментов в зоне доступности форвардера, работающего в технологическом коридоре, а также с валкой в зоне доступности рабочего органа харвестера вырубаемых деревьев вершинами

к технологическим коридорам с последующей обработкой их харвестером, работающим в технологическом коридоре, сбором и подвозкой сортиментов форвардером. По сходной схеме может использоваться также комбинированная технология со срезанием в центральной части технологической полосы деревьев мотопилами и валкой их к волоку, из которого они также обрабатываются харвестерами (с обрезкой вершин деревьев, сучьев и ветвей и раскряжёвкой стволов (хлыстов) на сортименты). Во всех вариантах подвозка собранных сортиментов осуществляется в направлении плавного соединения пасечно-го коридора с магистральным.

На участках с технологическими коридорами, проложенными через 50–65 м, при проведении выборочных санитарных рубок в расчете на подтрелевку сортиментов к волоку лебедками, при переходе к применению технологий на базе харвестеров – форвардеров и ограниченном количестве деревьев для прокладки коридоров может использоваться технология с двумя ходами харвестера в центральной части технологической полосы, разделенной на две ленты, в каждой из которых сортименты вырубаемых деревьев укладываются харвестерами в зоне доступности их форвардерами, работающими в одном из коридоров.

В лесных культурах при использовании технологической сети пасечных коридоров, заложенных под острым углом к рядам культур, и применении технологий разработки лесосек на базе традиционной техники с трелевкой длинномерных сортиментов (длиной 4–6 м) выборочная рубка деревьев в полупасеках осуществляется последовательно – сначала из рядов одной из двух полупасек с трелевкой в одном направлении (с меньшими разворотами трелеваемых предметов и повреждениями оставляемых деревьев), затем аналогично осуществляется рубка деревьев во второй полупасеке с трелевкой сортиментов в противоположном направлении для уменьшения повреждения оставляемых деревьев при вытрелевке сортиментов на волок.

В целом любые по ширине технологические полосы, образованные имеющимися

технологическими коридорами, просеками, дорогами, делятся на полосы, близкие по величине типичным (базовым), и на них с учетом количества деревьев, возраста, других факторов прокладывают дополнительные коридоры или применяют комбинированные технологии или технологии с 1–2 технологическими ходами харвестера в центральной части широких полос.

При сложной форме площади участков, ограниченных оврагами, опушками, болотами, каналами мелиорации и другими природными и хозяйственными объектами (в том числе независимо от формы выделов), технологическое обустройство их осуществляется с созданием комплексной технологической сети, состоящей из отдельных элементов с разным направлением пасечных технологических коридоров, примыкающих под разным углом к магистральным, объединяющим их в единую сеть ТхлКр с технологическими пунктами, расположенными у дорог. При этом на территории с холмистым рельефом, на склонах оврагов, балок, заросших древесной растительностью, при крутизне выше 5–6° в равнинных, как и в горных условиях, с учетом конкретной специфики участков используется технологическая сеть, включающая пасечные коридоры, которые проложены по горизонталям склонов и замыкаются магистральными серпантинной формы, проходящими по наиболее эрозионно безопасным элементам участка. В конкретных условиях можно также использовать вариант закладки коротких пасечных коридоров (50–60 м) вдоль склонов, замыкаемых магистральными, заложенными по горизонталям и примыкающими к погрузочным (технологическим) пунктам.

На участках, граничащих с безлесными пространствами, в том числе сельскохозяйственными угодьями, что характерно для объектов первых двух типов ФЦКЛВО, включающих части не используемых по целевому назначению полей с низкоплодородными почвами, заросшими лесной растительностью или используемыми для лесоразведения – создания лесных культур, в том числе насаждений специального углероддепонирующего назначения, технологическую сеть

закладывают с расчетом оставления по границе участка устойчивой плотной полосы насаждения шириной 25–30 м, на которой, в отличие от основной части участка высокоинтенсивного лесовыращивания, будут осуществляться рубки ухода умеренной и слабой интенсивности (к тому же с формированием устойчивой опушки). Соответственно, технологические коридоры в этой полосе не прокладывают, за исключением (при необходимости) отдельных извилистых коридоров с плавным выводом их по дуге для вытрелевки древесины к технологическому (погрузочному) пункту или её прямой вывозки. В зависимости от конкретной специфики площади участков, рельефа, происхождения насаждений (естественного, искусственного, комбинированного), направления рядов лесных культур, других условий магистральным технологическим коридором можно закладывать по внутренней границе выделенной защитной полосы или удаленным от нее на длину пасечных технологических коридоров, примыкающих к магистральному. В таком (последнем) варианте пасечные коридоры заканчиваются на расстоянии 25–30 м от границы участка с безлесным пространством.

Заключение

Исходя из лесоводственного определения сущности технологии как инструмента практической реализации мероприятий лесоводства и лесопользования, от свойств и характеристик которого зависит адекватность (точность) воздействий их на лесные экосистемы и другие объекты лесоводства, предусмотренных видами, методами, способами, установленным режимом содержания ЛВО, с учетом обобщения данных литературных источников об эффективности применения определенных технологий, сформированы системные методические положения технологического обеспечения решения лесоводственных задач общей проблемы повышения эффективности депонирования и консервации углерода лесами, смягчения изменений климата и его последствий, а также адаптации лесов

и лесного комплекса к меняющимся природным условиям.

При этом для достижения цели с использованием системного метода лесоводства в рамках полного цикла лесовоспроизводства выделяется узловая технология лесоводственных рубок (ухода, смены поколений леса) с технологической организацией участка, в значительной мере определяющей состав технологических процессов мероприятий по всем стадиям цикла ЛВП, при применении которых в процессе лесовыращивания достигается максимально возможная на данном уровне развития технических средств (техники) реализация природного потенциала продуктивности лесных экосистем, определяемого лесорастительными условиями, свойствами лесобразующих пород и формируемых ими насаждений – следовательно и депонирования углерода, влияния на климатические условия территорий, уровень компенсации эмиссии CO₂ в атмосферу.

Необходимые для решения задач адаптации лесов и лесного комплекса к изменяющимся и будущим условиям варианты использования существующих и новых технологий лесоводственных мероприятий, в первую очередь узловых – лесоводственных рубок, определены на основе анализа развития технических средств и технологий рубок лесных насаждений (лесосечных работ) на протяжении столетия, с выводом, что реальной принципиальной альтернативы развития механизированных технологий на базе многооперационной техники на перспективу (несколько десятилетий) не прогнозируется при ее безусловном совершенствовании, автоматизации и роботизации выполнения тех же или подобных операций и их сочетаний.

Параллельно, в том числе в связи с реализацией климатических проектов, могут развиваться варианты упрощенных технологий ограниченного применения для выращивания в период получения максимального среднего прироста целевых «карбоновых насаждений» плантационного типа на определенных участках, выделенных с учетом выполнения установленных экологических требований и условий, на которых

можно применять схематическое разреживание машинами фронтального и/или манипуляторного типа с осуществлением сплошной или поэтапной («выборочной») вырубki деревьев для заготовки биомассы, определенных сортиментов для производства изделий длительного пользования (консервации углерода), а также продуктов биоэнергетики для замещения ископаемых углеводородов в рамках приближения к замкнутому циклу углерода.

С учетом прогнозируемой перспективы развития техники и технологии лесосечных работ, а также возможного частичного сокращения сроков выращивания лесных насаждений углерододепонирующего и многоцелевого назначения разного породного состава (мягколиственных, хвойных, твердолиственных) на период до 50 лет и более выделяется основной тип технологий лесоводственных рубок – узкопосечный с созданием постоянной сети технологических коридоров на стадии смены поколений леса, молодняков, в том числе формируемых после утраты древостоев в связи с пожарами, патологией и другими причинами. Выполнение всех технологических операций рубки деревьев, обработки их (переработки) и транспортировки древесины (биомассы) в таких технологиях (при разнообразии их вариантов) осуществляется машинами манипуляторного типа – современных «харвестеров» и «форвардеров» или комплексных – типа «харвардеров», комбайнов для заготовки щепы, биомассы, в том числе возможно роботов, выполняющих все технологические операции в автоматическом режиме по определенным программам.

Одновременно предусматривается сохранение (вероятно на десятилетия) и возможное развитие среднепосечных и сходных с ними технологий, в том числе на основе комплексной организации территории участков леса локального экологического назначения, выполняющих водоохраные, средозащитные и иные целевые функции, с неизбежным ограничением применения типичных схем прокладки коридоров, а также работы мини-процессов (харвестеров) под пологом при необходимости сохранения

биоразнообразия – не только древесной, но и травянистой растительности, исключая уплотнение почвы и тем более повреждение корней деревьев, которые частично нередко оказываются и на ее поверхности. При этом валка, обработка деревьев (обрезка сучьев и ветвей, раскряжевка стволов на сортименты) может осуществляться более совершенными (чем существующие) машинами, агрегатами, работающими в безопасном, в том числе полуавтоматическом режиме, с последующим сбором, погрузкой и подвозкой заготовленной продукции с использованием в технологических целях элементов многофункциональной организации территории (инфраструктуры) участка различного целевого назначения.

При всем природном и целевом разнообразии объектов лесоводства, в том числе с заложенными ранее технологическими коридорами, и с учетом наличия и доступности технических средств, в целях рационального освоения каждого участка, исключая излишнюю вырубку деревьев в технологических целях и снижение общей продуктивности и прироста древостоев (соответственно депонирования, консервации углерода) при проведении лесоводственных рубок предусматривается возможность использовать различные варианты технологий и существующую технологическую сеть участков с необходимой корректировкой и дополнением ее, обеспечивающими повышение эффективности проведения

мероприятий, а также с комбинацией различных элементов, особенно при сложной форме границ, пересеченном рельефе, наличии оврагов, балок, эрозионно опасных склонов и др. особенностей.

Специфика функционально-целевого назначения участков по типам ФЦКЛВО в рамках установленных эколого-лесоводственных требований к технологиям, технологической организации территории и возможность, эффективность применения их вариантов для сохранения и повышения уровня депонирования и консервации углерода лесными экосистемами на тех же объектах основного целевого назначения лесов учитывается в основном в корректировке сроков закладки постоянной сети технологических коридоров в молодняках или на стадии их образования при лесовосстановлении, в том числе создания лесных культур, а также смене поколений леса в процессе обновления, реформирования, реконструкции лесных насаждений. При этом приоритет выбора сохраняется за узкопосечной технологией и соответствующей организацией территории участка (при отсутствии существенных ограничений экологического и иного плана) с реализацией на ее основе не только соответствующих технологий лесоводственных рубок, но и мероприятий лесовосстановления, охраны и защиты лесов, а также возможно и разработки, в широком понимании, критических и сквозных инновационных технологий лесного комплекса.

Список источников

1. Мартынюк, А.А. Изменения климата и леса: возможные последствия и план действий / А.А. Мартынюк, А.Н. Филипчук // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т. 5. – № 1(27). – С. 276–279. – EDN YQESON.
2. Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата / А.Н. Филипчук, Н.В. Малышева, Т.А. Золина, А.Н. Югов. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. – 2020. – № 1. – С. 92–113. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10. – Режим доступа: URL: <http://lhi.vniilm.ru>.
3. Анализ комплекса адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата в лесном секторе Российской Федерации / И.О. Торжков, Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2017. – № 4. – С. 64–77.
4. Вопросы лесоводственного совершенствования системы сохранения и использования лесов в рамках решения проблемы адаптации лесов и лесного комплекса к изменениям климата. – Текст : электронный / В.И. Желдак, Э.В. Дорошенкова, И.Ю. Прока, А.Н. Сычева, Т.В. Липкина // Лесохозяйственная информация. – 2023. – № 2. – С. 5–26. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.01. – Режим доступа: URL: <http://lhi.vniilm.ru>.
5. Агрохин, В.Г. Рубки ухода и промежуточное пользование / В.Г. Агрохин, И.К. Иевинь. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 256 с.
6. Виногоров, Г.К. Технология лесозаготовок / Г.К. Виногоров. – Москва : Лесная промышленность, 1984. – 296 с.
7. Лесные культуры : учебник : 2-е изд., испр. и доп. / А.Р. Родин и др. ; под общ. ред. В.Ф. Никитина. – Москва : изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – 209 с.
8. Иевинь, М.К. Проблемы технологии рубок ухода / М.К. Иевинь, А.Я. Кожемяк. – Рига : Зинатне, 1973. – 295 с.
9. Основные положения по рубкам ухода в лесах России. – Москва, 1993. – 64 с.
10. Наставление по рубкам ухода в равнинных лесах европейской части России. – Москва, 1994. – 190 с.
11. Желдак, В.И. Формирование систем технологий воспроизводства целевых лесов / В.И. Желдак // Современные технологии воспроизводства целевых лесов в юго-западном регионе центральной части России : сб. – Брянск, 2002. – С. 33–40.
12. Азаренок, В.А. Экологизированные технологии лесосечных работ / В.А. Азаренок, С.В. Залесов // Лесной вестник. – 2011. – № 5. – С. 43–45.
13. Обоснование технологии лесосечных работ с учетом повреждаемости подроста / В.В. Абрамов, Л.Д. Бухтояров, А.С. Черных, А.И. Максименков, А.Ю. Гудков // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы международной научно-практической конференции. – Т. 1. – Воронеж : Воронежский ГАУ, 2021. – С. 111–116.
14. Выбор технологии лесосечных работ в условиях устойчивого лесопользования / Ю.Н. Безгина, Э.Ф. Герц, В.В. Иванов, Т.А. Перепечина, Н.Н. Теринов, А.Ф. Уразова // Леса России и хозяйство в них. – 2015. – № 4 (55). – С. 12–22.
15. Азаренок, В.А. Депонирование углерода при экологизированных рубках: совмещение ресурсной и биосферной функций лесов / В.А. Азаренок, А.И. Колтунова // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 4 (83). – С. 53–54.
16. Pucher, C. Europe's Potential Wood Supply by Harvesting System. – Текст : электронный / Christoph Pucher, Gernot Erber, Hubert Hasenauer // Forests. – 2023. – № 14 (2). – P. 398. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/f14020398>.
17. Improving Forest Management by Implementing Best Suitable Timber Harvesting Methods / L.G. Bont, M. Fraefel, F. Frutig, S. Holm, C. Ginzler, C. Fischer // J. Environmental Management. – 2022. – 302: 114099. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.114099

18. The State of the Art of Forest Operations in Beech Stands of Europe and Western Asia. – Текст : электронный / F. Latterini, A.M. Jagodziński, P. Horodecki, W. Stefanoni, R. Venanzi, R. Picchio // *Forests*. – 2023. – 14: 318. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/f14020318>
19. Spatial prediction of soil disturbance caused by forest logging using generalized additive models and GIS Eur. – Текст : электронный / S. Shabani, A. Najafi, B. Majnonian [et al.] // *J. Forest Res.* – 2019. – 138: 595–606. doi. [org/10.1007/s10342-019-01180-8](https://doi.org/10.1007/s10342-019-01180-8). – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01180-8>.
20. Абузов, А.В. Технологии промежуточных рубок на труднодоступных территориях / А.В. Абузов, П.Б. Рябухин // *Лесной журнал*. – 2021. – № 4. – С. 117–130. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-117-130.
21. Мелехов, И.С. Лесоводство / И.С. Мелехов. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 362 с.
22. Воронцов, А.Н. Технология защиты леса / А.Н. Воронцов, Е.Г. Мозолевская, Э.С. Соколова. – Москва : Экология, 1991. – 304 с.
23. Щетинский, Е.А. Охрана лесов / Е.А. Щетинский. – Москва : ВНИИЛМ, 2001. – 380 с.
24. Кожевников, А.М. Изменение продуктивности насаждений после устройства технологических коридоров / А.М. Кожевников, М.А. Тарасенко, Н.Ф. Давидович // *Лесное хозяйство*. – 1976. – № 12. – С. 23–25.
25. Оценка воздействия проходных рубок ухода на древостои пробных площадей технопарка ПетрГУ / А.А. Селиверстов, В.М. Лукашевич, Ю.В. Суханов, А.Н. Пеккоев // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. – Т. 3. – 2015. – № 2–1(13–1). – С. 108–112.
26. Алексеенко, А. Выбор природосберегающих видов рубок и технологии лесосечных работ для разновозрастных лесов и малонарушенных лесных территорий Дальнего Востока / А. Алексеенко, А. Ковалев // *Устойчивое лесопользование*. – 2018. – № 2 (54). – С. 19–28.
27. К вопросу применения технологических схем разработки лесосеки на осушаемых землях Европейского Севера / Н.А. Дружинин, Ф.Н. Дружинин, О.А. Васильева, Д.М. Корякина, С.В. Цыпилев // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2023. – № 63. – С. 319–323.
28. О рубках обновления в Архангельской области / Е.А. Сурина, Н.С. Минин // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2023. – № 63. – С. 83–87.

References

1. Martynyuk, A.A. Izmeneniya klimata i lesa: vozmozhnye posledstviya i plan dejstvij / A.A. Martynyuk, A.N. Filipchuk // *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika*. – 2017. – Т. 5. – № 1(27). – С. 276–279. – EDN YQESON.
2. Boreal'nye lesa Rossii: vozmozhnosti dlya smygcheniya izmeneniya klimata / A.N. Filipchuk, N.V. Malysheva, T.A. Zolina, A.N. Yugov. – Текст : elektronnyj // *Lesohozyajstvennaya informaciya*. – 2020. – № 1. – С. 92–113. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10. – Rezhim dostupa: URL: <http://lhi.vniilm.ru>.
3. Analiz kompleksa adaptacionnyh mer k ozhidaemym izmeneniyam klimata v lesnom sektore Rossijskoj Federacii / I.O. Torzhkov, T.S. Koroleva, A.V. Konstantinov, E.A. Kushnir // *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo hozyajstva*. – 2017. – № 4. – С. 64–77.
4. Voprosy lesovodstvennogo sovershenstvovaniya sistemy sohraneniya i ispol'zovaniya lesov v ramkah resheniya problemy adaptacii lesov i lesnogo kompleksa k izmeneniyam klimata. – Текст : elektronnyj / V.I. Zheldak, E.V. Doroshchenkova, I.Yu. Proka, A.N. Sycheva, T.V. Lipkina // *Lesohozyajstvennaya informaciya*. – 2023. – № 2. – С. 5–26. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.01. – Rezhim dostupa: URL: <http://lhi.vniilm.ru>.
5. Atrohin, V.G. Rubki uhoda i promezhutochnoe pol'zovanie / V.G. Atrohin, I.K. Ievin'. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 256 с.
6. Vinogorov, G.K. Tekhnologiya lesozagotovok / G.K. Vinogorov. – Москва : Lesnaya promyshlennost', 1984. – 296 с.

7. Lesnye kul'tury : uchebnik : 2-e izd., ispr. i dop. / A.R. Rodin i dr. ; pod obshch. red. V.F. Nikitina. – Moskva : izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2020. – 209 s.
8. Ievin', M.K. Problemy tekhnologii rubok uhoda / M.K. Ievin', A.Ya. Kozhemyak. – Riga : Zinatne, 1973. – 295 s.
9. Osnovnye polozheniya po rubkam uhoda v lesah Rossii. – Moskva, 1993. – 64 s.
10. Nastavlenie po rubkam uhoda v ravninnyh lesah evropejskoj chasti Rossii. – Moskva, 1994. – 190 s.
11. Zheldak, V.I. Formirovanie sistem tekhnologij vosproizvodstva celevyh lesov / V.I. Zheldak // Sovremennye tekhnologii vosproizvodstva celevyh lesov v yugo-zapadnom regione central'noj chasti Rossii : sb. – Bryansk, 2002. – S. 33–40.
12. Azarenok, V.A. Ekologizirovannye tekhnologii lesosechnyh rabot / V.A. Azarenok, S.V. Zalesov // Lesnoj vestnik. – 2011. – № 5. – S. 43–45.
13. Obosnovanie tekhnologii lesosechnyh rabot s uchetom povrezhdaemosti podrosta / V.V. Abramov, L.D. Buhtoyarov, A.S. Chernyh, A.I. Maksimenkov, A.Yu. Gudkov // Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremenном proizvodstve i obshchestve : materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – T. 1. – Voronezh : Voronezhskij GAU, 2021. – S. 111–116.
14. Vybory tekhnologii lesosechnyh rabot v usloviyah ustojchivogo lesopol'zovaniya / Yu.N. Bezgina, E.F. Gerc, V.V. Ivanov, T.A. Perepechina, N.N. Terinov, A.F. Urazova // Lesa Rossii i hozyajstvo v nih. – 2015. – № 4 (55). – S. 12–22.
15. Azarenok, V.A. Deponirovanie ugleroda pri ekologizirovannyh rubkah: sovmeshchenie resursnoj i biosfernoj funkcij lesov / V.A. Azarenok, A.I. Koltunova // Agrarnyj vestnik Urala. – 2011. – № 4 (83). – S. 53–54.
16. Pucher, C. Europe's Potential Wood Supply by Harvesting System. – Tekst : elektronnyj / Christoph Pucher, Gernot Erber, Hubert Hasenauer // Forests. – 2023. – № 14 (2). – R. 398. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.3390/f14020398>.
17. Improving Forest Management by Implementing Best Suitable Timber Harvesting Methods / L.G. Bont, M. Fraefel, F. Frutig, S. Holm, S. Ginzler, S. Fischer // J. Environmental Management. – 2022. – 302: 114099. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.114099.
18. The State of the Art of Forest Operations in Beech Stands of Europe and Western Asia. – Tekst : elektronnyj / F. Latterini, A.M. Jagodziński, R. Horodecki, W. Stefanoni, R. Venanzi, R. Picchio // Forests. – 2023. – 14: 318. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.3390/f14020318>.
19. Spatial prediction of soil disturbance caused by forest logging using generalized additive models and GIS Eur. – Tekst : elektronnyj / S. Shabani, A. Najafi, V. Majnonian [et al.] // J. Forest Res. – 2019. – 138: 595–606. doi.org/10.1007/s10342-019-01180-8. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01180-8>.
20. Abuzov, A.V. Tekhnologii promezhutochnyh rubok na trudnodostupnyh territoriyah / A.V. Abuzov, P.B. Ryabuhin // Lesnoj zhurnal. – 2021. – № 4. – S. 117–130. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-117-130.
21. Melekhov, I.S. Lesovodstvo / I.S. Melekhov. – Moskva : Agropromizdat, 1989. – 362 s.
22. Voroncov, A.N. Tekhnologiya zashchity lesa / A.N. Voroncov, E.G. Mozolevskaya, E.S. Sokolova. – Moskva : Ekologiya, 1991. – 304 s.
23. Shchetinskij, E.A. Ohrana lesov / E.A. Shchetinskij. – Moskva : VNIILM, 2001. – 380 s.
24. Kozhevnikov, A.M. Izmenenie produktivnosti nasazhdenij posle ustrojstva tekhnologicheskikh koridorov / A.M. Kozhevnikov, M.A. Tarasenko, N.F. Davidovich // Lesnoe hozyajstvo. – 1976. – № 12. – S. 23–25.
25. Ocenka vozdejstviya prohodnyh rubok uhoda na drevostoi probnyh ploschadej tekhnoparka PetrGU / A.A. Seliverstov, V.M. Lukashevich, Yu.V. Suhanov, A.N. Pekkoev // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. – T. 3. – 2015. – № 2–1(13–1). – S. 108–112.
26. Alekseenko, A. Vybory prirodosberegayushchih vidov rubok i tekhnologii lesosechnyh rabot dlya raznovozrastnyh lesov i malonarushennyh lesnyh territorij Dal'nego Vostoka / A. Alekseenko, A. Kovalev // Ustojchivoe lesopol'zovanie. – 2018. – № 2 (54). – S. 19–28.

27. К вопросу применения технологических схем разработки лесосеки на осушаемых землях Европейского Севера / N.A. Druzhinin, F.N. Druzhinin, O.A. Vasil'eva, D.M. Koryakina, S.V. Cypilev // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. – 2023. – № 63. – С. 319–323.

28. О рубках обновления в Архангельской области / E.A. Surina, N.S. Minin // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. – 2023. – № 63. – С. 83–87.