

УДК 630.181.37

ВЛИЯНИЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ НА ЦИКЛ УГЛЕРОДА В ЛЕСОСТЕПИ И СТЕПИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Александр Леонидович Мусиевский

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики,
селекции и биотехнологии»

Россия, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д.105

E-mail: musievsky@mail.ru

Приведены данные о структуре фонда лесовосстановления 11 субъектов Европейской части России, динамике годичного депонирования углерода модальными насаждениями основных лесобразующих пород. Выполненный анализ динамики продуктивности модальных древостоев показал, что древесный запас на 1 га насаждений в районе степей на 41,7% меньше, чем в лесостепном районе. На основе динамических рядов текущего прироста рассчитана углерододепонирующая способность модальных насаждений сосны, дуба, березы и осины, составившая для сосняков $1,0-1,1 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$, высокоствольных дубрав - $1,2-1,3 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$, березняков - $1,0-1,3 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$. Наименьшие объемы текущего накопления углерода характерны для модальных осиновых насаждений, которые на 20-40% меньше аналогичных показателей для других лесобразующих пород. Расчеты показали, что для фонда искусственного лесовосстановления сосны объем среднего ежегодного депонирования углерода составляет - $1,453 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$, дуба черешчатого - $1,679 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$, березы - $1,568 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$. В ближайшие 100 лет средний запас углерода в лесных экосистемах изучаемых субъектов может уменьшиться на 10-15%, при этом лесовосстановление способно возместить только до 20% потерь всего запаса углерода.

Ключевые слова: *лесной фонд; лесовосстановительные мероприятия; депонирование углерода*

Введение

В современных условиях население планеты становится свидетелем происходящих глобальных изменений климата, одной из причин которых является нарушение углеродного баланса экосистемы Земли в результате чрезмерного воздействия на нее путем массового уничтожения лесов, добыче и использования ископаемых видов топлива, развития сельскохозяйственного производства, роста числа и размеров городов, возрастания промышленного воздействия на природную среду. Происходящие изменения могут оказаться весьма негативными для человечества. Мировое сообщество, осознавая это, активно ищет пути реабилитации и стабилизации углеродного баланса. Самым действенным из них, на сегодняшний день, считается повсеместное восстановление лесов с оптимальной биомассой и биоразнообразием, поскольку из 130 млрд. т углерода, циркулирующего между наземной биотой и атмосферой порядка 90% приходится на леса [1, 6]. Кроме того, лесные экосистемы, аккумулируют в себе более 1200 млрд. т углерода, который содержится как в живых растениях и растительных остатках, так и в значительной мере в лесной почве. Очевидно, что любые виды хозяйственной деятельности, связанные с изменением количества растительной биомассы на лесных землях, включая лесовосстановление, на прямую влияют на депонирование или выброс углерода в атмосферу [5, 6]. По данным Л.В. Степочкина [13] в искусственных дубравах Орловской области культуры дуба достигают возраста количественной углеродной спелости в 60 лет, текущее депонирование углерода в этот период составляет около $1,2 \text{ т С/га*год}$ в фитомассе и $0,2-0,6 \text{ т С/га*год}$ в детрите, однако при регулярном проведении уборки

захламливаемости в наиболее продуктивном типе леса дубняк снытьевый (ТЛУ Д₂) к 100-летнему возрасту почва недополучает до 4,7 т С/га.

Для того чтобы максимально эффективно использовать такой мощный инструмент воздействия на баланс углерода в биосфере как леса, необходимо иметь объективную информацию о том, как влияют на него лесохозяйственные мероприятия, обеспечивающие сохранение и восстановление лесов. В первую очередь это относится к лесовосстановлению, которое в нашей стране регламентируется «Правилами лесовосстановления», утвержденными Приказом Минприроды России в 2016 г. [10]. Исследования показывают, что за счет повышения эффективности и объемов лесовосстановления (лесоразведения) в условиях лесостепи и степи ЕЧР возможно не только сохранение и увеличение покрытых лесной растительностью земель, но и существенное повышение объемов депонируемого углерода.

Целью исследований является сбор, обработка и анализ данных по оценке влияния лесовосстановления на цикл углерода на примере ряда регионов, расположенных в лесостепном лесном районе и районе степей ЕЧР [11].

Объекты и методы исследований

Объектами исследований для изучения влияния лесовосстановления на цикл углерода послужили данные о состоянии лесного фонда, объемах создания лесных культур, содействия естественному возобновлению и проведению уходов в молодняках (осветления, прочистки) на территории зонально-регионального полигона (ЗРП), представленного лесным фондом 11 областей (табл. 1).

Для расчета депонирования и стока углерода при выполнении лесовосстановительных мероприятий в лесных экосистемах ЗРП степной и лесостепной зон ЕЧР была применена методика «Региональной оценки бюджета углерода лесов» (далее – «РОБУЛ») [12], позволяющая оценить поглощение и потери углерода лесными экосистемами от ежегодных лесохозяйственных мероприятий, проводимых в изучаемом ЗРП.

Результаты и обсуждение

Лесовосстановление, являясь одним из важнейших лесохозяйственных мероприятий по поддержанию экологического равновесия на изучаемой территории, позволяет получить непосредственные результаты по депонированию углерода лесными экосистемами. В таблице 1 приведена структура фонда лесовосстановления ЗРП лесостепного района и района степей ЕЧР.

Наибольший фонд лесовосстановления имеется в следующих областях: Волгоградской - 56,5 тыс. га, Ростовской - 30,2 тыс. га, Саратовской - 25,0 тыс. га, Воронежской - 18,3 тыс. га, Самарской - 9,7 тыс. га и Пензенской - 8,3 тыс. га. При этом следует учитывать, что в категорию пустыри и прогалины, в частности, в Волгоградской, Ростовской, и Саратовской областях зачастую входят и площади с повышенным содержанием солей (солончаки), выходы меловых отложений и др., на которых лесовосстановление затруднено. В тоже время на категориях гари и погибшие насаждения, вырубki лесовосстановление должно быть выполнено в установленные нормативами сроки [10].

Основным способом лесовосстановления на территории ЗРП лесостепного района и района степей ЕЧР (табл. 1) является искусственное ввиду наибольшей эффективности и возможности создания насаждений с преобладанием целевых лесобразующих пород [7, 8]. На площадях, входящих в фонд лесовосстановления оно осуществляется созданием лесных культур в виде посадки семян, саженцев (в т. ч. с ЗКС), черенков, посевом семян лесных растений [10]. Наибольшие среднегодовые

объемы лесовосстановительных мероприятий за период 2008-2017 гг. (табл. 1) выполнялись в Волгоградской - 2361,3 га, Ростовской - 1902,5 га, Саратовской - 1727 га и Пензенской - 1679,2 га областях. Наименьшие - в Белгородской - 150,8 га/год и Орловской - 201,0 га/год областях. Указанные области характеризуются и наименьшими объемами фонда лесовосстановления. В целом во всех 11 регионах, входящих в состав изучаемого полигона, ежегодно в среднем искусственное лесовосстановление проводится на площади 13000,5 га.

Таблица 1

Структура фонда лесовосстановления полигона лесостепного района и района степей Европейской части России (по данным ГЛР на 01.01.2018)

Регион РФ (область)	Непокрытые лесной растительностью земли (фонд лесовосстановления), тыс. га				
	вырубки	пустыри, прогалины	погибшие насаждения	гари	итого
Воронежская	9	4,2	1,6	3,5	18,3
Белгородская	0,3	0,9	0,2	0	1,4
Курская	0,6	0,7	0	0	1,3
Липецкая	1,3	0,3	0,1	0	1,7
Тамбовская	2,6	0,1	0,1	0	2,8
Орловская	0,2	0,6	0,3	0	1,1
Пензенская	6	1,5	0	0,8	8,3
Волгоградская	13,1	23,8	4,1	15,5	56,5
Самарская	1,7	4,9	2,8	0,3	9,7
Саратовская	5,9	13,8	1,4	3,9	25
Ростовская	4,7	20,5	1,8	3,2	30,2
Итого	45,4	71,3	12,4	27,2	156,3

Естественное лесовосстановление, осуществляемое с помощью содействия естественному возобновлению, направленного на сохранение существующего подроста, минерализации почвы, огораживании на изучаемой территории распространено менее значительно. Его наибольшие среднегодовые объемы путем содействия естественному возобновлению характерны для Пензенской (864 га), Липецкой (500,0 га) и Самарской (319,0 га) областей. В остальных регионах они не превышают 100 га в год (табл. 2).

Общий объем данного мероприятия на изучаемом зонально-региональном полигоне составляет в среднем 1918 га в год (табл. 2). Безусловно, это наиболее экономически выгодный способ лесовосстановления. Однако, он не обеспечивает гарантированного восстановления лесокультурной площади (гари, погибшие насаждения, вырубки) ценными для изучаемого ЗРП лесообразующими древесными породами (дубом черешчатым, сосной обыкновенной) ввиду заглушения их более быстрорастущими, но менее ценными – осинкой, ивой, липой, кленом, вязом, др., а иногда и кустарником (лещиной, др.), что, отрицательно влияет на структуру лесного фонда изучаемых территорий.

Учитывая, что в защитных лесах, преобладающих на территории ЗРП (за исключением части Пензенской области), применяются преимущественно выборочные рубки, а основные лесообразующие породы здесь – светолюбивые (дуб черешчатый и сосна обыкновенная), искусственное восстановление которых эффективно на открытых площадях, то объемы искусственного лесовосстановления неизбежно будут снижаться ввиду сокращения фонда лесовосстановления – имеющиеся пустыри и прогалины в основном уже засажены, а площади из под сплошных рубок практически отсутствуют. Остаются площади гарей и поврежденных насаждений, которых при своевременном и эффективном выполнении противопожарных и лесозащитных мероприятий также

будет немного. Поэтому в перспективе на изучаемой территории, где преобладают защитные леса при сохранении существующей системы лесохозяйственных мероприятий и нормативной базы, объемы искусственного лесовосстановления будут уменьшаться, а леса будут постепенно стареть, что, отрицательно скажется на их углерододепонирующей способности. Необходимо разработать новую систему ведения лесного хозяйства в защитных лесах, с соответствующими ей комплексом лесохозяйственных мероприятий и нормативной базой.

Таблица 2

Объемы лесовосстановления на территориях субъектов РФ, относящихся к зонально-региональному полигону лесостепного района и района степей ЕЧР (по данным ГЛР на 01.01.2018)

Регион	Среднегодовые объемы лесовосстановительных мероприятий, га		
	создание лесных культур	содействие естественному возобновлению	уход в молодняках (осветления, прочистки)
Воронежская	1084,3	88	1400
Белгородская	150,8	-	421
Курская	454,4	29	883
Липецкая	1409	500	895,7
Тамбовская	882	-	2651
Орловская	201	-	963
Пензенская	1679,2	864	2250
Волгоградская	2361,3	68	1640,6
Самарская	1149,0	319	1223,0
Саратовская	1727	50	1845
Ростовская	1902,5	-	664,4
Итого	13000,5	1918	14836,7

Следует отметить, что фонд лесовосстановления, приведенный в таблице 1, при сохранившихся объемах лесовосстановительных мероприятий (табл. 2) будет полностью исчерпан (при условии пригодности почв для лесовосстановления на всех площадях) в Липецкой области – через 1 год, Курской – 3 года, Тамбовской – 4 года, Орловской – 6 лет, Самарской – 7 лет, Белгородской – 9 лет, Саратовской – 14 лет, Ростовской – 16 лет, Воронежской – 17 лет, Волгоградской – 23 года. Таким образом, в перечисленных 6 областях, имеющих в настоящий момент площадей фонда лесовосстановления для создания лесных насаждений искусственным способом хватит менее чем на 10 лет, а в 4-х - на 14-17 лет. В Пензенской области часть лесов относится к эксплуатационным, где разрешены сплошные рубки, поэтому фонд лесовосстановления будет пополняться за счет площадей новых вырубок.

Анализ динамики продуктивности модальных древостоев основных лесобразующих пород изучаемого полигона, выполненный с использованием таблиц хода роста основных лесобразующих пород ЕЧР [14], свидетельствует, что в лесостепном районе наибольшим средним древесным запасом на 1 га обладают хвойные насаждения - 202 м³/га. У твердолиственных и мягколиственных пород он приблизительно одинаков – 149 м³/га и 151 м³/га соответственно, что по сравнению с хвойными породами меньше на 26%. При этом, максимальные значения он имеет у хвойных древостоев в приспевающем возрасте – 302 м³/га, затем снижаясь на 7% в спелых и перестойных. У твердолиственных и мягколиственных пород он достигает максимума в 172 м³/га и 216 м³/га в достигших возраста спелости древостоях. Довольно значительно он различается и в пределах одного лесорастительного района, в частности, в районе степей ЕЧР - от 134 м³/га в Самарской области до 105 м³/га в Саратовской. Наибольший средний древесный запас на 1 га в районе степей также имеют хвойные насаждения - 183 м³/га. При этом у мягколиственных древостоев он на

20%, а у твердолиственных - на 32 % ниже, что объясняется недостатком влаги в этом районе, который более существенно сказывается на их продуктивности по сравнению с другими лесобразующими породами. В районе степей в твердолиственных и мягколиственных насаждениях наибольший древесный запас накапливается в спелых и перестойных древостоях - 149 м³/га и 143 м³/га соответственно. У хвойных – в средневозрастных (193 м³/га). В районе степей наибольший средний запас древесины на 1 га в насаждениях Воронежской области - 157 м³/га, наименьший 69 м³/га в Волгоградской. В целом древесный запас на 1 га насаждений, произрастающих в районе степей на 41,7% меньше среднего запаса на 1 га древостоев лесостепного района ЕЧР, что объясняется менее благоприятными лесорастительными условиями и в первую очередь недостаточным количеством осадков.

Объемы годового стока углерода находятся в прямо пропорциональной зависимости от возраста древостоев, что позволяет для их оценки использовать динамические ряды текущего изменения запаса основных лесобразующих пород изучаемого зонально-регионального полигона, приведенные в таблицах хода роста для древостоев лесостепного района и района степей Европейской части России с учетом относительной полноты насаждений на землях каждой из рассматриваемых категорий фонда лесовосстановления и лесоразведения [14].

Для получения объемов годового депонирования углерода были применены специальные конверсионные коэффициенты [2], дифференцированные по группам возраста древостоев и характеризующие содержание углерода в общем запасе стволовой древесины изучаемых древостоев основных лесобразующих пород. При определении величины объемов среднего депонирования углерода древостоями, планируемыми к созданию на землях фонда лесовосстановления (таблицы 1,2), была использована методика, разработанная Д.Г. Замолотчиковым и др. [3].

На основе динамических рядов текущего прироста основных лесобразующих пород лесостепного района и района степей Европейской части России [14] была рассчитана углерододепонирующая способность модальных насаждений сосны, дуба, березы и осины по классам бонитета и классам возраста (таблица 3). Расчеты показали, что максимального значения у модальных насаждений сосны обыкновенной она достигает в 20 лет в древостоях Ia (2,3 тС*га⁻¹*год⁻¹) – II (1,8 тС*га⁻¹*год⁻¹) классов бонитета, в 30 лет – III (1,3 тС*га⁻¹*год⁻¹), в 40 – IV (1,1 тС*га⁻¹*год⁻¹). Затем он начинает снижаться, становясь меньше 1,0 тС*га⁻¹*год⁻¹ в 60 лет в насаждениях всех классов бонитета.

В модальных насаждениях дуба черешчатого максимум углерододепонирующей способности достигается в 30 лет, принимая значения в I – III классах бонитета соответственно равные 2,3 тС*га⁻¹*год⁻¹, 1,9 тС*га⁻¹*год⁻¹ и 1,5 тС*га⁻¹*год⁻¹ и 0,9 тС*га⁻¹*год⁻¹ в IV. Затем она начинает снижаться, становясь меньше 1,0 тС*га⁻¹*год⁻¹ в 70 лет во всех классах бонитета. В модальных насаждениях березы своего максимума углерододепонирующая способность достигает в 20 лет, принимая значения в Ia–III классах бонитета равные соответственно 4,4 тС*га⁻¹*год⁻¹, 3,5 тС*га⁻¹*год⁻¹, 2,6 тС*га⁻¹*год⁻¹ и 1,8 тС*га⁻¹*год⁻¹, в 30 лет – в IV (1,2 тС*га⁻¹*год⁻¹). Затем он снижается и становится меньше 1,0 тС*га⁻¹*год⁻¹ в 50 лет в насаждениях всех классов бонитета.

У модальных насаждений осины максимум углерододепонирующей способности достигается в 20 лет, в Ia - I классах бонитета принимая значения равные 1,7 тС*га⁻¹*год⁻¹ и 1,5 тС*га⁻¹*год⁻¹ соответственно, в 30 лет во всех остальных классах бонитета. Затем он начинает снижаться, становясь меньше 1,0 тС*га⁻¹*год⁻¹ в 40 лет в насаждениях Ia, III – IV классах бонитета и в 50 лет у I-II.

Таблица 3

Динамика годичного депонирования углерода модальными насаждениями основных
лесообразующих пород зонально-регионального полигона лесостепного района и района степей
ЕЧР, т С*га⁻¹*год⁻¹

Возраст, лет	Класс бонитета				
	Ia	I	II	III	IV
Порода – сосна обыкновенная					
40	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1
60	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
80	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
100	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
120	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
Порода – дуб черешчатый					
40	-	2,1	1,9	1,5	0,9
60	-	1,2	1,3	1,2	0,9
80	-	0,6	0,7	0,7	0,6
100	-	0,3	0,4	0,4	0,4
120	-	0,1	0,2	0,3	0,2
140	-	-0,1	0,1	0,2	0,2
Порода – береза					
40	1,3	1,3	1,3	1,1	1,0
60	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
80	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
100	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Порода – осина					
40	0,9	1,0	1,0	0,9	0,7
60	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
80	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1

Учитывая, что средний возраст изучаемых сосновых насаждений составляет 48 лет, то их углерододепонирующая способность в настоящее время находится на уровне 1,0-1,1 тС*га⁻¹*год⁻¹. Средний возраст высокоствольных насаждений дуба черешчатого сейчас достиг 58 лет и их углерододепонирующая способность пока превышает 1,0 тС*га⁻¹*год⁻¹, составляя 1,2-1,3 тС*га⁻¹*год⁻¹ (в I–III классах бонитета). В дубовых насаждениях IV класса бонитета она в течение всего периода жизни остается меньше 1,0 тС*га⁻¹*год⁻¹. Средний возраст березняков составляет 41 год, при котором углерододепонирующая способность также превышает 1,0 тС*га⁻¹*год⁻¹ находясь на уровне 1,0-1,3 тС*га⁻¹*год⁻¹. Но уже через 20 лет она резко (в 3 раза) снизится до 0,3-0,4 тС*га⁻¹*год⁻¹. Осиновые насаждения достигли среднего возраста - 40 лет, при котором их углерододепонирующая способность находится на уровне 0,7-1,0 тС*га⁻¹*год⁻¹. В целом следует отметить, что наименьшие объемы текущего накопления углерода характерны для модальных осиновых насаждений, которые на 20-40% меньше аналогичных показателей для других основных лесообразующих пород (сосны, дуба и березы) изучаемых лесных районов (табл. 3).

Оценки объемов депонирования углерода при освоении фондов лесовосстановления и лесоразведения могут быть получены с помощью моделей, описывающих порядок выполнения данных мероприятий. Перед началом освоения фонда лесовосстановления и лесоразведения все объемы работ по фактическому лесовосстановлению и лесоразведению считаются нулевыми, поскольку именно они обеспечивают создание новых насаждений на непокрытых лесной растительностью площадях и до их начала не оказывается существенного влияния на текущие темпы депонирования углерода.

Расчеты показали, что для фонда искусственного лесовосстановления сосны, как основной восстанавливаемой хвойной породы в возрасте 60 лет объем среднего ежегодного депонирования углерода составляет - $1,453 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Для фонда искусственного лесовосстановления твердолиственных пород - дуба, как основной восстанавливаемой твердолиственной породы в возрасте 60 лет объем среднего ежегодного депонирования углерода составляет - $1,679 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Для фонда искусственного лесовосстановления березы, как основной восстанавливаемой мягколиственной породы в возрасте 60 лет объем среднего ежегодного депонирования углерода составляет - $1,568 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Таблица 4

**Виды и объемы лесовосстановительных работ в субъектах ЗРП
(по данным ГЛР на 01.01.2018)**

Область	Всего непокрытых лесной растительностью земель, тыс. га	Лесокультурный фонд, тыс. га	Площади, обеспеченные естественным лесовосстановлением, тыс. га	Объем лесовосстановления, всего тыс. га	В том числе:	
					Искусственное восстановление леса, тыс. га	Содействие естественному возобновлению леса, тыс. га
Белгородская	1,8	0,9	0,4	0,417	0,417	-
Воронежская	21,9	8,4	7,2	2,6412	2,1784	0,4628
Волгоградская	73,9	47,9	12,9	1,0750	1,0750	-
Курская	1,8	0,9	0,3	0,57119	0,56119	0,010
Липецкая	7,6	5,7	1,7	1,3947	1,3355	0,0592
Орловская	1,3	0,2	0,4	0,0071	0,0071	-
Пензенская	10,1	3,6	3,2	2,53066	1,86146	0,6692
Ростовская	32,1	19,0	5,0	1,500	1,500	-
Самарская	6,1	4,2	0,9	1,0795	0,8295	0,25
Саратовская	23,9	13,0	4,5	2005,0	1,209	0,796
Тамбовская	3,9	2,5	1,1	0,930	0,930	-
ИТОГО	184,4	106,3	37,6	14,15135	11,90415	2,2472

Объем среднего ежегодного депонирования углерода для фонда содействия естественному возобновлению составляет:

- в сосновых насаждениях в возрасте 60 лет объем среднего ежегодного депонирования углерода составляет - $1,383 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$;
- в твердолиственных насаждениях в возрасте 60 лет объем среднего ежегодного депонирования углерода составляет - $1,598 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$;

Для фонда естественного зарощивания объем среднего ежегодного депонирования углерода составляет:

- в сосновых древостоях в возрасте 60 лет объем среднего годичного стока углерода составляет - $1,433 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$;
- в твердолиственных древостоях в возрасте 60 лет объем среднего годичного стока углерода составляет - $1,850 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$;
- в мягколиственных древостоях в возрасте 60 лет объем среднего годичного стока углерода составляет - $1,728 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Всего по фонду искусственного лесовосстановления объем среднего годичного стока углерода будет составлять:

- для фонда искусственного лесовосстановления сосны в возрасте 60 лет:
 $1,453 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 4166 \text{ га} = 6053,2 \text{ тС} \cdot \text{год}^{-1}$;
- для фонда искусственного лесовосстановления дуба в возрасте 60 лет:
 $1,679 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 5357 \text{ га} = 8994,4 \text{ тС} \cdot \text{год}^{-1}$;

- для фонда искусственного лесовосстановления березы в возрасте 60 лет:
 $1,568 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 2381 \text{ га} = 3733,4 \text{ тС} \cdot \text{год}^{-1}$.

Всего для фонда содействия естественному лесовосстановлению путем минерализации почвы объем среднего годичного стока углерода будет составлять:

- для фонда лесовосстановления сосны в возрасте 60 лет:

$1,383 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 1011,2 \text{ га} = 1398,5 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$;

- для фонда лесовосстановления дуба в возрасте 60 лет:

$1,598 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 1236 \text{ га} = 1975,1 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Всего для фонда естественного зарастивания объем среднего годичного стока будет составлять:

- для сосны в возрасте 60 лет:

$1,433 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 4286,4 \text{ га} = 6142,4 \text{ тС} \cdot \text{год}^{-1}$;

- для дуба в возрасте 60 лет:

$1,850 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 9813,6 \text{ га} = 18155,16 \text{ тС} \cdot \text{год}^{-1}$;

- для березы в возрасте 60 лет:

$1,728 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 23500 \text{ га} = 40608 \text{ тС} \cdot \text{год}^{-1}$.

Для фонда проведения осветлений и прочисток в молодняках 1-2 классов возраста объем среднего годичного стока углерода составляет:

- для древостоев с преобладанием сосны:

$1,453 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 4154,3 \text{ га} = 6036,2 \text{ тС} \cdot \text{год}^{-1}$;

- для древостоев с преобладанием твердолиственных пород (дуба):

$1,679 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 5934,6 \text{ га} = 9964,2 \text{ тС} \cdot \text{год}^{-1}$;

- для древостоев с преобладанием мягколиственных пород (береза, осина)

$1,568 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot 4747,7 \text{ га} = 7444,4 \text{ тС} \cdot \text{год}^{-1}$.

Всего по фонду проведения осветлений и прочисток в молодняках 1-2 классов возраста объем среднего годичного стока углерода на площади 14836,7 га составляет 23444,8 тС·год⁻¹

В целом ежегодное дополнительное депонирование углерода в результате проведения мероприятий по восстановлению лесов на территории изучаемого полигона составит 110505 тС·год⁻¹, а с учетом временного периода - 100 лет окажется равным 13,261 млн тС·год⁻¹ [13].

Заключение

Лесные экосистемы изучаемого зонально-регионального полигона выполняют важные экологические функции, оказывая значительное влияние на углеродный цикл в лесостепном районе и районе степей Европейской части России. Фактически располагаясь на южной границе распространения лесов, они обладают значительной долей углерода наземных экосистем, внося существенный вклад в его поглощение из атмосферы [4, 15]. При этом установлено, что после гибели лесов от пожаров, неконтролируемых рубок, повреждений насекомыми покрытые лесом земли на определенный период превращаются в источник углерода, как за счет активно протекающих процессов окисления отмершей древесины, опада, отпада, уничтоженной подстилки, так и почвенного дыхания. В связи с чем, одной из основных задач управления в защитных лесах в краткосрочной и долгосрочной временных перспективах является недопущение или минимизация деструктивных нарушений покрытых лесной растительностью земель на территории ЗРП.

Основными мероприятиями, направленными на увеличение углерододепонирующей способности лесов являются: скорейшее их восстановление на землях, временно не покрытых лесной растительностью; реконструкция перестойных насаждений и малоценных молодняков, чьи защитные и санитарно-гигиенические

функции пошли на спад или не отвечают целевому назначению; улучшение возрастной структуры и состава существующих лесов путем проведения рубок ухода за лесными насаждениями средней и слабой интенсивности [4, 5, 9].

Выполненные расчеты углерододепонирующей способности модальных насаждений сосны, дуба, березы и осины показали, что в текущий период для сосняков она составляет $1,0-1,1 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$, высокоствольных дубрав - $1,2-1,3 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$, березняков - $1,0-1,3 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$. Наименьшие объемы текущего накопления углерода характерны для модальных осиновых насаждений, которые на 20-40% меньше аналогичных показателей для других лесобразующих пород. Установлено, что для фонда искусственного лесовосстановления сосны объем среднего ежегодного депонирования углерода составит - $1,453 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$, дуба черешчатого - $1,679 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$, березы - $1,568 \text{ тС*га}^{-1}\text{год}^{-1}$.

Проведенные исследования показали, что в ближайшие 100 лет средний запас углерода в лесных экосистемах субъектов, входящих в состав ЗРП может уменьшиться на 10-15 %, при этом лесовосстановление способно возместить только до 20 % потерь всего запаса углерода.

Список литературы

1. *Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В.* Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу основных лесобразующих пород России // Лесная таксация и лесоустройство, Красноярск, 2003. – Вып. 1 (32). – С. 119-127.
2. *Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Уткин А.И. и др.* Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. – 200 с.
3. *Замолодчиков Д.Г.* Системы оценки бюджета углерода в лесах. – М.: ЦЭПЛ РАН, 2012. – 59 с.
4. *Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П. и др.* Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России // Лесоведение, 2013. – № 5. – С. 36-49.
5. *Малышева Н.В., Золина Т.А., Кинигопуло П.С.* Лесохозяйственные мероприятия – инструмент управления углеродным циклом в лесных экосистемах. Опыт Канады // Лесохозяйственная информация, 2015. – № 2. – С. 70-94.
6. *Мусиевский А.Л.* «Оценка влияния пожаров на цикл углерода в лесах лесостепного района и района степей Европейской части России // Международный научно-исследовательский журнал «Евразийский союз ученых». – 2018. – № 4 (49). – С. 24-27.
7. *Мусиевский А.Л.* Состав и продуктивность насаждений, лесистость регионов лесостепи и степи Европейской части России // «Леса России: Политика, промышленность, наука, образование» Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. Том 2. под. ред. А.А. Добровольского. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 45-48.
8. *Павлов Д.С., Букварева Е.Н.* Климаторегулирующие функции наземных экосистем и экологоцентрическая концепция природопользования // Успехи современной биологии, 2011. – Т. 131, № 4. – С. 324-345.
9. Приказ Минприроды России от 29 июня 2016 г. № 375 «Об утверждении правил лесовосстановления».
10. Приказ Минприроды России от 18 августа 2014 года № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» (с изменениями на 2 августа 2023 года).

11. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа по национальным кадастрам парниковых газов. – М.: МГЭИК, 2003. – 648 с.

12. Степочкин Л.М. Депонирование углерода культурами дуба черешчатого Орловской области (на примере Моховского опытного лесничества Новосильского лесхоза): автореф. канд. с.-х. наук: 03.00.16. – Воронеж, 2003. – 20 с.

13. Шанин В.Н., Михайлов А.В., Быховец С.С. и др. Глобальные изменения климата и баланс углерода в лесных экосистемах бореальной зоны: имитационное моделирование как инструмент прогноза // Изв. РАН. Серия биол., 2010. – С. 719-730.

14. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С. и др. Таблицы хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии. – М.: 2006. – 803 с.

15. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал, 2014. – № 1. – С. 69-92.

Статья поступила в редакцию 09.06.2024 г.

Musievsky A.L. Effect of reforestation on the carbon cycle in the forest-steppe and steppe of the European part of Russia // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. – 2024. – № 152. – P. 93-102

The data on the structure of the reforestation fund of 11 subjects of the European part of Russia, the dynamics of annual carbon deposition by modal plantations of the main forest-forming species are presented. The analysis of the dynamics of productivity of modal stands showed that the wood stock per 1 ha of plantations in the steppe region is 41.7% less than in the forest-steppe region. Based on the dynamic series of the current increase, the carbon-depositing capacity of modal stands of pine, oak, birch and aspen was calculated, which amounted to 1.0-1.1 t C*ha⁻¹*year⁻¹ for pine forests, 1.2-1.3 t C*ha⁻¹*year⁻¹ for high-stemmed oak forests, 1.0-1.3 t C*ha⁻¹ for birch forests 1*year⁻¹. The lowest volumes of current carbon accumulation are typical for modal aspen plantations, which are 20-40% less than similar indicators for other forest-forming species. Calculations have shown that for the fund of artificial reforestation of pine, the volume of average annual carbon deposition is 1,453 t C*ha⁻¹*year⁻¹, and oak – 1,679 t C*ha⁻¹*th.

Key words: forest fund; reforestation measures; carbon deposition