



ПРИХОДНАЯ ЧАСТЬ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ РУБОК В ЛЕСАХ УРАЛА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОСИСТЕМНОГО ЛЕСОВОДСТВА

В. А. АЗАРЕНОК,

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Уральский государственный лесотехнический университет,

А. И. КОЛТУНОВА,

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Оренбургский государственный аграрный университет

(460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18; тел.: 8 (3532) 777-194, 89128484313; e-mail: koltunova47@mail.ru),

В. А. УСОЛЬЦЕВ,

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Уральский государственный лесотехнический университет

(620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тр., д. 37; тел.: 8 (343) 254-61-59; e-mail: usoltsev50@mail.ru)

Ключевые слова: фитомасса, прирост фитомассы, прирост запаса, несплошные рубки, выборка запаса, экосистемное лесоводство, устойчивое управление, сырьевой потенциал.

Непрерывно нарастающая антропогенная нагрузка на окружающую среду обусловила смену ресурсно-сырьевой парадигмы в использовании леса человеком на биосферно-стабилизирующую, что вписывается в общую концепцию устойчивого управления лесами и экосистемного лесоводства. Сырьевые функции лесов, приоритетное значение которых было бесспорным на протяжении всего периода существования человеческой цивилизации, в конце прошлого века закономерно отступили на второй план перед биосферной ролью лесных ресурсов. Ведение хозяйства в лесу в настоящее время требует детального экологического обоснования, поскольку все возрастающая вырубка лесов вызывает дисбаланс углерода в биосфере и связанные с ним нежелательные изменения климата. Поэтому современные технологии рубок должны разрабатываться с учетом их влияния на углерододепонирующую и кислородопroduцирующую функции лесов. Для оценки углеродного баланса лесных экосистем необходимы обширные сведения о динамике их фитомассы. В настоящей работе использованы таблицы биологической продуктивности сосняков и березняков Уральского региона. На основе известных закономерностей изменения текущего прироста запаса древостоев в зависимости от полноты предложена формула, которая включает зависимость текущего прироста фитомассы после рубки древостоя от прироста исходного древостоя и соотношение запасов стволовой древесины того и другого. В целях получения наибольшего прироста фитомассы лесов и минимизации потерь депонирования углерода при рубках предложено проведение несплошных рубок, позволяющих в большей мере решать экологические проблемы, обеспечивая неистощимость экологического и сырьевого потенциала лесного фонда в процессе устойчивого управления лесами.

INPUT PART OF THE CARBON BALANCE IN DIFFERENT METHODS OF TREE FELLING IN THE URAL FORESTS FROM THE POINT OF VIEW OF ECOSYSTEM FORESTRY

V. A. AZARENOK,

doctor of agricultural sciences, professor,
Ural State Forest Engineering University,

A. I. KOLTUNOVA,

doctor of agricultural sciences, professor, Orenburg State Agrarian University

(18 Cheluskintsev Str., 460014, Orenburg; tel.: +7 (3532) 777-194; 89128484313; e-mail: koltuno-va47@mail.ru),

V. A. USOLTSEV,

doctor of agricultural sciences, professor, Ural State Forest Engineering University

(37 Sibirskiy tr. Str., 620100, Ekaterinburg; tel.: +7 (343) 254-61-59; e-mail: usoltsev50@mail.ru)

Keywords: phytoweight, phytoweight increase, stock increase, not continuous cutting, selection of a stock, ecosystem forestry, steady management, raw potential.

Continuously accruing anthropogenous load of a surrounding medium caused change of a resource and raw paradigm in use of the forest by the person on biospheric stabilizing that is entered in the common concept of steady management of the woods and ecosystem forestry. Raw functions of the woods which priority value was indisputable throughout the entire period of existence of a human civilization, at the end of the last century naturally paled into insignificance with a biospheric role of forest resources. Management activities in the forest now requires a detailed environmental study, as an increasing deforestation causes an imbalance of carbon in the biosphere and related adverse climate change. Therefore, advanced technology logging must take into account their impact on carbon-deposited and oxygen-producing functions of forests. To estimate the carbon balance of forest ecosystems extensive information about the dynamics of a biomass require. In this paper the biological productivity of the table used pine and birch forests of the Ural region. On the basis of the known patterns of changes in the current increment of growing stock, depending on the completeness the formula proposed, which includes the dependence of the current gain of a biomass after logging on stand growth and growing source of stem wood ratio of stocks of both. In order to obtain the greatest growth of biomass of forests and minimize the loss of carbon sequestration when logging suggested conducting selective cutting, allowing a greater extent to solve environmental problems, providing inexhaustible ecological and resource potential of forest resources in sustainable forest management.

Положительная рецензия представлена А. А. Маленко, доктором сельскохозяйственных наук, доцентом Алтайского государственного аграрного университета.



Непрерывно нарастающая антропогенная нагрузка на окружающую среду обусловила смену ресурсно-сырьевой парадигмы в использовании леса человеком на биосферно-стабилизирующую, что вписывается в общую концепцию устойчивого управления лесами и экосистемного лесоводства [1]. Сырьевые функции лесов, приоритетное значение которых было бесспорным на протяжении всего периода существования человеческой цивилизации, в конце прошлого века закономерно отступили на второй план перед биосферной ролью лесных ресурсов. Ведение хозяйства в лесу в настоящее время требует детального экологического обоснования, поскольку все возрастающая вырубка лесов вызывает дисбаланс углерода в биосфере и связанные с ним нежелательные изменения климата. Поэтому современные технологии рубок должны разрабатываться с учетом их влияния на углероддепонирующую и кислородопродуцирующую функции лесов.

Цель и методика исследований. Для оценки углеродного баланса лесных экосистем необходимы обширные сведения о динамике их фитомассы. В нашей работе использованы данные биологической продуктивности сосняков [2] и березняков Уральского региона [3]. При расчетах сделаны следующие допущения:

1) текущее изменение запаса стволовой древесины и общая надземная фитомасса древостоев на участках рубок имеют тенденцию к сохранению темпов роста, поскольку последние в значительной степени определяются локальными условиями местопроизрастания;

2) прирост фитомассы отдельных фракций закономерно увеличивается после проведения рубки;

3) отпад исключен выборкой ослабленных деревьев при рубке;

4) период прогнозных расчетов принят равным 20 годам, что обусловлено градацией данных в базовых таблицах биологической продуктивности;

5) возраст рубки в сосновых насаждениях условно принят в 100 лет, березовых древостоев – 60 лет;

6) расчет прироста фракций фитомассы и запасов депонированного углерода проведен применительно к следующим возможным способам рубок:

– при выборке 20 % запаса, что соответствует первому приему длительно-постепенных или добровольно-выборочных рубок;

– при выборке 30 % запаса, что соответствует первому приему двухприемных равномерно-постепенных рубок (только для сосняков);

– при выборке 50 % запаса, что также допустимо для первого приема двухприемных равномерно-постепенных рубок;

– при выборке 100 % запаса, что соответствует сплошно-лесосечной рубке.

Закономерности изменения текущего прироста запаса древостоев в зависимости от полноты известны в литературе [4]. Прирост надземной фитомассы древостоев с относительной полнотой менее единицы, выраженный в долях прироста максимально сомкнутого древостоя, связан с соотношением запасов стволовой древесины этих насаждений. Таким образом, установить величину прироста фракций фитомассы и величину приращения депонированного в фитомассе углерода после проведения рубок можно на основе следующего уравнения:

$$Z_{pi} = Z_{pucx} (M_i/M_{ucx})^U, \quad (1)$$

где Z_{pi} – текущее изменение (прирост) фракции фитомассы после рубки, т/га в год; Z_{pucx} – текущее изменение (прирост) фракции фитомассы до рубки, т. е. в исходном возрасте, т/га в год; M_i – запас древостоя после рубки, м³/га; M_{ucx} – запас древостоя до рубки, м³/га; U – переменная, величина которой наиболее тесно коррелирует с коэффициентом прироста (K_z) [4]. В случае, когда этот коэффициент меньше единицы, т. е. прирост после рубки снижается, величина U имеет положительное значение, если же прирост фракций фитомассы после рубки возрастает, U приобретает отрицательное значение.

Результаты исследований. Связь переменной U с коэффициентом прироста фитомассы в общем виде представлена зависимостью:

$$U = f(K_z), \quad (2)$$

для аппроксимации которой испытано несколько уравнений. Из них наиболее приемлемым оказалось уравнение системы кривых Пирсона:

– для сосны:

$$U = (-0,189011 K_z + 0,183537) / (0,0745766 + 0,152087 K_z + 0,000286077 K_z^2); \quad (3)$$

– для березы:

$$U = (-0,720195 K_z + 0,71285) / (0,128817 + 0,119693 K_z - 0,00462415 K_z^2). \quad (4)$$

Точность выравнивания данных по уравнению (3) для сосны составила $R^2 = 0,752$, для березы – 0,655; по уравнению (4) соответственно: 0,754 и 0,655.

Уравнения могут быть использованы в прогнозных расчетах только при условии снижения полноты древостоя после рубок не ниже 0,5.

В расчетах запасов углерода применены следующие коэффициенты: 0,5 для стволов, ветвей, подраста; 0,45 – для хвои, листвы и травянистого яруса [5]. Исходные данные для расчета запасов углерода являются одновременно и контрольным вариантом для прогноза (табл. 1).

При проведении рубок в сосняках в возрасте 100 лет таксационная и продукционная характеристики древостоя закономерно изменяются: при выборке 20 % запаса стволовой древесины соотношение запасов (M_i/M_{ucx}) до рубки и после составляет 0,8, при выборке 30 % – 0,7, при выборке 50 % – 0,5.



Таблица 1
Надземная фитомасса и запасы депонированного углерода в сосняках

Фракции	Показатели в возрасте, лет								
	Запас фитомассы, т/га			Прирост фитомассы, т/га/год			Запас углерода, т/га		
	100	120	140	100	120	100	120	140	
Стволы	176,7	190,9	207,1	0,710	0,810	88,35	95,45	103,6	
Ветви	26,1	29,8	32,4	0,185	0,130	13,05	19,90	16,2	
Хвоя	4,3	4,0	3,8	0,043	0,030	1,94	1,80	1,70	
Подрост	3,1	3,4	3,6	0,155	0,010	1,55	1,70	1,80	
Напочвенный покров	1,2	1,4	1,5	0,06	0,005	0,54	0,60	0,70	
Общая надземная фитомасса	211,4	229,5	248,4	1,153	0,985	105,43	119,45	124,00	

Таблица 2
Прогноз показателей фитомассы и запасов депонированного углерода в 120-летних сосняках (через 20 лет после рубки)

Фракции	Показатели при соотношении запасов											
	U			Текущий прирост фитомассы, т/га/год			Запас фитомассы, т/га			Запас углерода, т/га		
	0,8	0,7	0,5	0,8	0,7	0,5	0,8	0,7	0,5	0,8	0,7	0,5
Ствол	-1,081	-0,327	-0,9090	0,90	1,03	1,33	158,3	143,3	114,4	79,2	71,7	57,2
Ветви	-1,653	-1,577	-1,3349	0,27	0,32	0,47	25,4	24,0	21,8	12,7	12,0	10,9
Хвоя	-6,816	-6,884	-3,5400	0,20	0,50	0,50	8,0	13,5	12,5	3,6	6,1	5,6
Подрост	-2,798	-3,098	-3,2633	0,29	0,47	1,49	8,3	11,9	32,3	4,2	6,0	16,2
Напочвенный покров	-0,692	-1,140	-2,0800	0,01	0,01	0,03	1,2	1,2	1,5	0,5	0,5	0,7
Общая фитомасса	-	-	-	-	-	-	201,2	193,9	182,5	100,2	96,3	90,6

Таблица 3
Прогноз показателей фитомассы и запаса депонированного углерода через 20 лет после сплошной рубки в сосняках I класса бонитета

Запас по фракциям, т/га	Ствол	Ветви	Хвоя	Итого
Фитомасса	25,6	8,8	3,8	38,2
Углерод	12,8	4,4	1,7	18,9

Таблица 4
Прирост фракций фитомассы среднего дерева, 10⁻³ т/га/год

Фракции фитомассы	Контроль	Прогноз при $M_i/M_{исх}$			Пробные площади с полнотой		
		0,8	0,7	0,5	>1,0	1,0	0,8
	120 лет	120 лет			122 года		112 лет
Ствол	2,2	2,4	3,1	5,6	1,6	2,8	4,1
Ветви	0,4	0,7	1,0	2,0	0,9	1,2	1,1
Хвоя	0,1	0,5	1,5	2,1	1,2	2,4	1,7

Прогноз накопления фитомассы и депонирования углерода проведен по уравнениям (1), (3), (4), а расчет показателей фитомассы после рубок по фракциям проведен по соотношению:

$$P_i = P_{исх} + Z_{P_i} N, \quad (5)$$

где P_i – запас фитомассы отдельных фракций после рубки, т/га; $P_{исх}$ – запас фитомассы отдельных фракций до рубки, т/га; N – период прогноза, лет.

Продукционная характеристика сосновых древостоев в 120-летнем возрасте, т. е. через 20 лет после различных вариантов рубки, представлена в табл. 2. Как следует из данных таблицы, через 20 лет после рубки с выборкой 20 % запаса общая надземная фитомасса и запас углерода составят 88 % от контроля, при выборке 30 % запаса – 84,5 %, а после рубки

половины наличного запаса стволовой древесины биопродуктивность оставшегося древостоя достигает 80 % контрольных показателей общей надземной фитомассы и запасов углерода. Фитомасса подроста в этом случае составляет 18 % от общей продуктивности древостоев, что в 4,5 раза больше, чем при выборке 20 % запаса и в 3 раза больше, чем при проведении первого приема постепенной рубки с выборкой 30 % запаса.

Проведение второго приема рубки осуществляется через класс возраста после первого, в течение этого времени в древостое происходит формирование нового поколения: в основном полог – лес в возрасте 120 лет, на разреженных участках – второе поколение леса в возрасте 20 лет. Прогноз продукционной



Таблица 5
Прогноз показателей фитомассы и запасов депонированного углерода
березового древостоя в возрасте 80 лет (через 20 лет после рубки)

Фракции	Показатели при соотношении запасов							
	U		Текущий прирост фитомассы, т/га×год		Запас фитомассы, т/га		Запас углерода, т/га	
	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5
Ствол	-1,5854	-1,6167	1,02	2,2	123,6	108,4	61,8	54,2
Ветви	-1,0541	-1,4078	0,13	0,3	12,8	11,8	6,4	5,9
Листва	-3,8071	-4,0219	0,08	0,6	3,2	12,1	1,5	5,4
Подрост	-2,6436	-2,8717	0,20	0,8	5,6	17,9	2,9	9,0
Напочвенный покров	-1,4078	-3,0888	0,07	0,4	2,2	9,3	1,0	4,6
Общая фитомасса	-	-	-	-	147,4	159,5	73,6	79,1

Таблица 6
Прогноз показателей фитомассы и запаса депонированного углерода
через 20 лет после сплошной рубки основного поколения в березняках

Запас по фракциям, т/га	Ствол	Ветви	Хвоя	Итого
Фитомасса	45,1	5,9	1,7	52,7
Углерод	22,6	3,0	0,8	26,4

Таблица 7
Прирост фракций фитомассы среднего дерева, 10^{-3} т/га×год

Фракции фитомассы	Контроль		Прогноз при $M_i/M_{исх}$		Пробные площади с полной		
	60 лет	80 лет	0,8	0,5	1,0	1,0	1,0
			80 лет	80 лет	56 лет	67 лет	84 года
Ствол	0,77	0,31	1,38	4,78	1,35	1,46	2,52
Ветви	0,11	0,10	0,18	0,65	0,20	0,21	0,34
Листва	0,04	0,04	0,11	1,30	1,57	2,02	4,34

характеристики древостоя после рубки основного поколения рассчитан по таблице биопродуктивности [2]. Так, для варианта длительно-постепенных рубок с выборкой 30 % запаса в первый прием общая надземная фитомасса составит 16 т/га (ствол – 9,6; ветви – 1,6; хвоя – 0,7; подрост – 2,2; нижний ярус – 1,9 т/га), запас углерода достигает 7,9 т/га. Таким образом, на участке рубок сохраняется лесная среда и формируется условно-разновозрастной древостой.

В случае сплошной рубки прогноз показателей фитомассы и углерода (табл. 3) осуществляется также по данным таблицы биопродуктивности [2] при условии, что древостой обеспечен достаточным количеством жизнеспособного подроста, рубка проведена в строгом соответствии с требованиями правил [6].

Для верификации прогнозной модели осуществлен расчет показателей прироста фракций фитомассы среднего дерева по данным контрольного варианта в возрасте 120 лет и пробных площадей близкого возраста, сделан прогноз изменения продуктивности после различных по интенсивности выборки запаса рубок (табл. 4).

Таким образом, прогноз изменений биопродуктивности древостоев под воздействием различных вариантов рубок можно считать в достаточной сте-

пени корректным и отражающим закономерности продукционного процесса в чистых высокополнотных сосняках I класса бонитета.

Прогноз биопродуктивности березовых древостоев после рубок с интенсивностью выборки 20, 50 и 100 % запаса выполнен аналогично прогнозным расчетам в сосняках (табл. 5).

Как следует из данных табл. 5, общая надземная фитомасса и запас углерода при 20%-й выборке запаса достигли в течение класса возраста 89 % от контроля, а при 50%-й выборке древостой восстанавливает 96 % фитомассы и углерода контроля, при этом новое поколение леса составляет 12 % от общей фитомассы, формируя смешанные насаждения, так как подрост в данном случае представлен сосной.

Прогноз показателей фитомассы и запасов углерода (табл. 6) через 20 лет после проведения сплошных рубок рассчитан по таблице хода роста надземной фитомассы березняков [3] в возрасте 20 лет. Верификация прогнозных расчетов проведена сравнением прироста фракций фитомассы среднего дерева по данным контроля в возрасте 60 и 80 лет, пробных площадей близкого возраста и прогноза изменения продуктивности березняков после рубок (табл. 7).



Выводы. Рекомендации. Приведенные прогнозные расчеты биопродуктивности древостоев после рубок имеют предварительный характер, являясь первым приближением к оптимальному решению проблемы, и по мере накопления сведений в базе данных о фитомассе лесов Северной Евразии будут уточняться и совершенствоваться. В целях получения наибольшего прироста фитомассы лесов и минимизации потерь депонирования углерода при рубках наиболее целесообразны несплошные способы рубок, позволяющие в большей мере решать экологические проблемы, обеспечивая неистощимость экологического и сырьевого потенциала лесного фонда в процессе устойчивого управления лесами.

Литература

1. Уткин А. И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3–20.
2. Усольцев В. А., Мельникова И. В., Тепикин С. В., Нагимов З. Я. Ход роста надземной фитомассы сосняков и ельников Среднего Урала // Леса Урала и хозяйство в них. Екатеринбург, 1994. Вып. 17. С. 155–169.
3. Усольцев В. А., Сальников А. А. Ход роста надземной фитомассы березняков Среднего Урала // Леса Урала и хозяйство в них. Екатеринбург, 1999. Вып. 19. С. 240–252.
4. Хлюстов В. К. Закономерности текущего прироста сосняков Казахского мелкосопочника : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 1986. 20 с.
5. Кобак К. И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л. : Гидрометеиздат, 1988. 248 с.
6. Правила рубок главного пользования в лесах Урала. М., 1994. 33 с.

References

1. Utkin A. I. Carbon cycle and forestry // Forest maintenance. 1995. № 5. P. 3–20.
2. Usoltsev V. A., Melnikova I. V., Tepikin S. V., Nagimov Z. Ya. Aboveground biomass growth of pine and spruce stands on the Middle Urals // Forests of the Urals and the economy. Ekaterinburg, 1994. Issue 17. P. 155–169.
3. Usoltsev V. A., Salnikov A. A. Aboveground biomass growth of birch stands on the Middle Urals // Forests of the Urals and the economy. Ekaterinburg, 1999. Issue 19. P. 240–252.
4. Khlustov V. K. Regularities of scots pine current growth on Kazakh Small Hills : autoref. dis. ... cand. of agricult. sciences. Krasnoyarsk, 1986. 20 p.
5. Kobak K. I. Biotic components of the carbon cycle. L. : Gidrometeoizdat, 1988. 248 p.
6. The rules of clear cuttings for the Ural forests. M., 1994. 33 p.