



Научная статья

УДК 630.235.5:630.9(1-925.12)

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-1-9-22

## Оценка секвестрационного потенциала осиново-березовых древостоев островных лесостепей Средней Сибири

*С.Л. Шевелев, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [AAC-7282-2019](https://orcid.org/0000-0002-6127-8589),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6127-8589>*

*С.В. Усов, аспирант; ResearcherID: [AAB-4651-2022](https://orcid.org/0000-0003-2516-694X),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2516-694X>*

*Л.И. Романова<sup>✉</sup>, канд. биол. наук, доц.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9437-2272>*

*Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия, 660037; shewel341@yandex.ru, serus1303@yandex.ru, ontogenez16@mail.ru<sup>✉</sup>*

*Поступила в редакцию 03.02.22 / Одобрена после рецензирования 10.05.22 / Принята к печати 13.05.22*

**Аннотация.** Лесостепи Средней Сибири, занимающие предгорные прогибы и межгорные котловины, разделенные таежной растительностью, считаются островными. Лесная древесная растительность по большей части представлена березовыми, осиновыми, лиственничными и сосновыми древостоями. Определяющую роль в экологической устойчивости лесных территорий играют лиственные насаждения. Цель работы – установление особенностей динамики отдельных элементов леса в смешанных лиственных древостоях в пределах лесного массива. Решались следующие задачи: дать характеристику лесного массива, динамики таксационных показателей основных и сопутствующих элементов смешанных древостоев; оценить вклад древостоев в углеродный баланс. В основу работы положены данные 548 таксационных выделов. Выявлены особенности возрастной структуры массива, представленность древостоев различных полнот и производительности. Выполнена оценка изменчивости средних таксационных показателей древостоев в разные возрастные периоды. Полученные средние значения стали основой для математического моделирования. Оказалось, что процесс с достаточной степенью адекватности отражается функцией Вейбулла. Оценка точности уравнений велась по коэффициенту детерминации и стандартной ошибке уравнения. На основе полученных математических моделей построена таблица динамики средних таксационных показателей древостоев элементов леса и всего смешанного древостоя в целом. Рассматриваемая биологическая система древесной лесной растительности обладает значительными возможностями депонирования углерода. В настоящее время нет единой общепризнанной методики оценки эффективности данного процесса. Отечественными и зарубежными исследователями на материале различных лесорастительных зон собран большой объем данных, однако методики сбора различны. Для установления запасов углерода в древостоях – объектах исследования – использован

© Шевелев С.Л., Усов С.В., Романова Л.И., 2024

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

конверсионно-объемный метод. Получены данные, иллюстрирующие динамику запасов углерода в осиново-березовых древостоях островных лесостепей Средней Сибири. **Ключевые слова:** лесной массив, островные лесостепи, углерод, депонирование углерода, секвестрационный потенциал, Средняя Сибирь

**Для цитирования:** Шевелев С.Л., Усов С.В., Романова Л.И. Оценка секвестрационного потенциала осиново-березовых древостоев островных лесостепей Средней Сибири // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 1. С. 9–22. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-9-22>

Original article

### Assessment of the Sequestration Potential of the Aspen-Birch Stands in the Insular Forest-Steppes of Central Siberia

**Sergey L. Shevelev**, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAC-7282-2019](https://orcid.org/0000-0002-6127-8589),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6127-8589>

**Sergey V. Usov**, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAB-4651-2022](https://orcid.org/0000-0003-2516-694X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2516-694X>

**Larisa I. Romanova** , Candidate of Biology, Assoc. Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9437-2272>

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prosp. imeny gazety “Krasnoyarskiy rabochiy”, 31, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation; shewel341@yandex.ru, serus1303@yandex.ru, ontogenez16@mail.ru 

Received on February 3, 2022 / Approved after reviewing on May 10, 2022 / Accepted on May 13, 2022

**Abstract.** The forest-steppes of Central Siberia occupying submontane troughs and intermountain basins separated by taiga vegetation are considered insular. Forest woody vegetation is mainly represented by birch, aspen, larch and pine stands. A decisive role in the ecological sustainability of forest areas is played by larch plantations. This study has aimed to identify the characteristics of the dynamics of individual forest elements in the mixed deciduous stands within the forest area. The tasks have been to identify the characteristics of the forest area, characterize the dynamics of the taxation parameters of major and minor elements of the mixed stands and assess the contribution of the stands to the carbon balance. The work is based on the data of 548 strata. We have established the characteristics of the forest area age structure and how the stands of various completeness and productivity are represented in it. We have also estimated the variability of the average stands taxation parameters in different age periods. The average values obtained have become the basis for mathematical modeling of the table of the dynamics of the taxation parameters of the mixed stands. It turns out that the process to a reasonable degree of adequacy is reflected by the Weibull distribution. The accuracy of the equations has been estimated by the value of the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the standard error of the equation (S). On the basis of the obtained mathematical models, we have constructed the table of the dynamics of the average taxation parameters of the stands of the forest elements and of the mixed stand as a whole. The biological system of forest woody vegetation under consideration has a significant carbon sequestration potential. However, there is currently no generally accepted procedure for assessing the effectiveness of this process. Russian and foreign researchers have collected a large amount of data from different regions, but they have been using different methods. To estimate carbon stocks in the stands that are the object of the study, we have used the conversion-volume method for



estimating carbon stocks in forest plantations. The result is the obtained data illustrating the dynamics of carbon stocks in the aspen-birch stands in the insular forest-steppes of Central Siberia.

**Keywords:** forest area, insular forest-steppes, carbon, carbon sequestration, sequestration potential, Central Siberia

**For citation:** Shevelev S.L., Usov S.V., Romanova L.I. Assessment of the Sequestration Potential of the Aspen-Birch Stands in the Insular Forest-Steppes of Central Siberia. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 1, pp. 9–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-9-22>

### Введение

Лесостепи Средней Сибири – Ачинская, Красноярская и Канская, – занимая предгорные прогибы и межгорные котловины, разделены таежной растительностью и поэтому считаются островными. Территория островных лесостепей является одним из наиболее хозяйственно освоенных регионов, вследствие чего здесь образовались достаточно специфические формы растительного покрова. Растительность выполняет важнейшие средообразующие и частично эксплуатационные функции. Знания региональных особенностей формирования лесной растительности, ее динамики могут помочь при решении ряда проблем рационального природопользования; при сохранении необходимых объемов природных комплексов для обеспечения устойчивости биологических лесных систем, свойственных данным природным территориям; при восстановлении и стабилизации углеродного баланса.

Изучение растительного покрова островных лесостепей Средней Сибири ведется уже достаточно продолжительный период. Первые наблюдения были сделаны Д.Г. Мессершмитом, С.Г. Гmeliным, П.С. Палассом, более поздние – В.В. Ревердатто [16], Л.М. Черепниным [21], Е.М. Антиповой [2, 3] и др. По данным последней, в районе исследования лесная растительность представлена 2 классами (лиственные и хвойные леса), 3 группами (мягколиственные, светлохвойные и темнохвойные) и 6 формациями, составленными березовыми (*Betula pendula* Roth.), осиновыми (*Populus tremula* L.) и смешанными (березово-осиновыми) насаждениями, при этом преобладающими являются березовые древостои. Насаждения формируют массивы, а также расположены «колками» среди сельхозугодий и по склонам сопкок. Сосновые (*Pinus sylvestris* L.) и лиственничные (*Larix sibirica* L.) леса тяготеют к окраинам островных лесостепей и в значительной степени расстроены. В настоящее время определяющую роль в поддержании экологической устойчивости лесных территорий в данном регионе играют лиственные насаждения, смешанные и чистые, состоящие из березы, осины, иногда с примесью хвойных пород.

Цель работы – установление особенностей динамики отдельных элементов леса в смешанных осиново-березовых древостоях в пределах лесного массива.

Решались следующие задачи: установление особенностей структуры лесного массива; выявление динамики таксационных показателей основных и сопутствующих элементов леса смешанных лиственных древостоев; оценка вклада рассматриваемых древостоев в углеродный баланс.

Актуальность исследования обусловлена тем, что в настоящее время динамике смешанных древостоев не уделяется достаточного внимания, планирование лесохозяйственных мероприятий осуществляется по нормативам,

разработанным на основе данных роста чистых древостоев, что влечет за собой ошибки. Вопросам роста и строения смешанных древостоев посвящен ограниченный ряд исследований [7]. Не менее актуальной является проблема изучения секвестрационного потенциала древостоев.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования стали смешанные осиново-березовые и березово-осиновые древостои, сформировавшие крупный лесной массив.

Лесной массив как структурная единица леса изучался многими исследователями (В.А. Антанайтис, И.Н. Репшис [1]; Р.А. Зиганшин, А.В. Качаев [14]; Л.Н. Ващук, А.З. Швиденко [6] и др.), но до сих пор особенности строения и изменчивость элементов этой крупной биологической системы установлены далеко не в полном объеме. Оценивая сложность решения данной проблемы, И.С. Мелехов отмечал, что «...лесной массив нельзя принимать за элементарную таксономическую категорию леса, так как он неоднороден и представляет собой совокупность элементарных участков – насаждений (лесных фитоценозов), а последние – еще более мелких, уже структурных подразделений» [15, с. 95].

В настоящей работе под лесным массивом понимается биологическая лесная система, сформировавшаяся в определенных географических условиях, соответствующая отдельным элементам ландшафта и занимающая целостную территорию с естественными границами, которой присущи опосредованные орографическими, почвенными, погодно-климатическими и другими факторами структуры биоценозов [23].

В основу работы положены материалы глазомерно-измерительной таксации 548 таксационных выделов, выполненной в процессе инвентаризации лесов Уярского лесничества Красноярского края в 2016–2017 гг. филиалом Рослесинфорга «Востсиблеспроект». Древостои представляли главные лесорастительные формации. Совокупность собранных данных использовалась для характеристики структуры лесного массива, особенности динамики древостоев были рассмотрены на примере осиново-березовых насаждений.

Для построения таблиц динамики использованы методические положения, изложенные Н.В. Третьяковым и получившие развитие в трудах И.В. Семечкина [17]. Опирались также на методические выкладки Д.Г. Замолотчикова, А.И. Уткина, Г.Н. Коровина [12]; Д.Г. Замолотчикова, А.И. Уткина, О.В. Честных [13] в области разработки и совершенствования конверсионно-объемного метода определения запасов углерода в лесных насаждениях. В этих исследованиях приводятся регрессионные уравнения, связывающие фракционную структуру фитомассы древостоев с их запасом и возрастом, получены конверсионные коэффициенты, позволяющие устанавливать запас депонированного углерода для древостоев основных лесобразующих пород в зависимости от их возраста. Составленная нами таблица динамики не претендует на роль таксационного норматива – таблицы хода роста. Она отражает характер изменений, происходящих в 2 взаимосвязанных, взаимообусловленных элементах леса сложного древостоя.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Аналізу подвергся лесной массив, сформированный смешанными лиственными древостоями, представленный 548 таксационными выделами.

264 выдела (48,2 %) приходится на древостои с преобладанием осины, 284 (51,8 %) – с преобладанием березы. В составе древостоев кроме осины и березы в незначительном количестве (не более 1 ед., очень редко 2 ед., а в основном с + или единично) принимали участие сосна, лиственница, пихта (*Abies sibirica* L.), ель (*Picea obovata* Lab.), ива (*Salix caprea* L.) и кедр (*Pinus sibirica* Du Tour). Все древостои относятся к формации травяных лесов лесостепей и группе типов леса «разнотравные».

Деление древостоев на возрастные группы приведено в табл. 1.

Таблица 1

**Распределение смешанных лиственных древостоев по группам возраста (%)**  
**Distribution of the mixed deciduous stands by age group (%)**

Группа возраста	Доля в древостоях			
	С преобладанием осины		С преобладанием березы	
	по количеству выделов	по площади	по количеству выделов	по площади
Молодняки	7,2	3,9	9,8	5,9
Средневозрастные и приспевающие	45,5	41,6	31,0	29,6
Спелые	35,6	42,2	52,2	59,8
Перестойные	11,2	12,3	7,0	4,7

Из табл. 1 следует, что доля молодняков в смешанных лиственных древостоях составляет менее 10 % как по количеству древостоев, так и по занимаемой ими площади. Причем характерной особенностью молодняков является незначительная площадь отдельных участков. Так, количество молодняков с преобладанием осины составляет 7,2 % от их общего числа в лесном массиве, а по площади доля этих древостоев всего 3,9 %. Аналогичная картина наблюдается в смешанных древостоях с преобладанием березы, где доля молодняков по количеству выделов составляет 9,8 %, а по площади – 5,9 %. Средневозрастные и приспевающие древостои составляют 30–46 %, спелые – 36–60 %. Перестойных древостоев немного: не более 12,3 % по площади. Однако совокупная доля спелых и перестойных древостоев равняется 50–60 %.

Полученные данные отражают ситуацию, когда в древостоях в истекшие десятилетия эксплуатация была ограничена (в силу различных причин, среди которых не последнюю роль играла невысокая востребованность древесины этих пород) и они в основном выступали в качестве формации, обеспечивающей экологическую стабильность региона.

Динамика состава древостоев с преобладанием осины характеризуется увеличением доли основной породы в древостое с возрастом (рис. 1). В числе сопутствующих пород в этих древостоях на 1-м месте береза и в незначительных объемах ива козья, а также пихта сибирская. В древостоях с преобладанием березы доля главной породы более стабильна – только в молодняках она соответствует 5 ед. среднего состава смешанных березовых древостоев. В древостоях остальных групп возраста в формуле среднего состава древостоев коэффициент для данного вида равен 6. Основные сопутствующие породы – осина и сосна, их доли в составе отражаются соответственно коэффициентами 3-2 и 2-1.

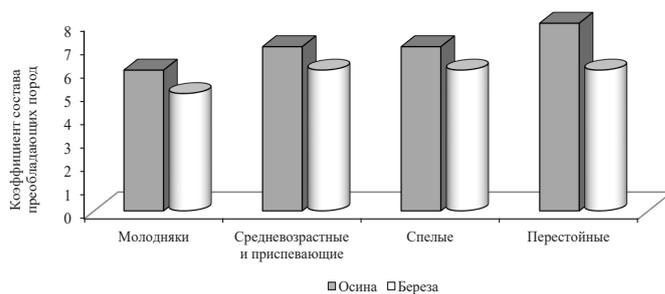


Рис. 1. Доля преобладающих пород в составе смешанных древостоев

Fig. 1. The proportion of predominant species in the composition of the mixed stands

Различия по производительности древостоев разных лиственных пород значительны, несмотря на то, что средние относительные полноты близки, при некотором отставании у древостоев с преобладанием березы (рис. 2). Древостои, слагающие лесной массив, в абсолютном преобладании модальные. В выборке таксационных выделов с превалированием березы древостои с полнотой 1,0 отсутствуют, а в древостоях, где больше осины, составляют 4,1 %.

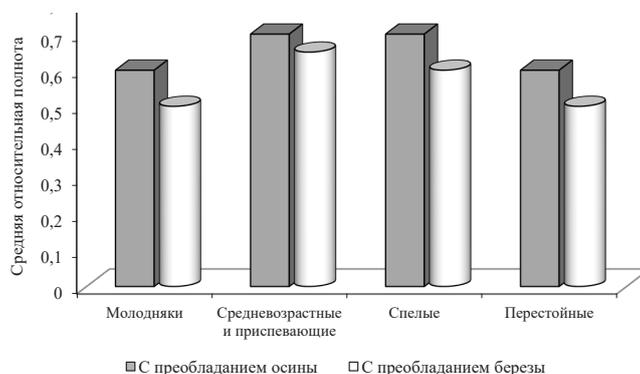


Рис. 2. Средняя относительная полнота смешанных лиственных древостоев

Fig. 2. Average relative completeness of the mixed deciduous stands

Соотношение общих средних запасов древостоев по группам возраста приведено на рис. 3.

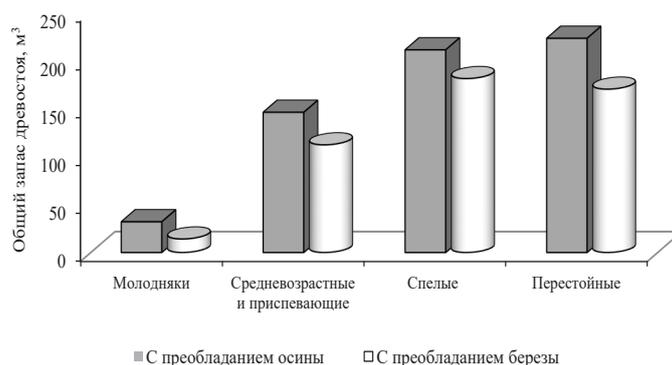


Рис. 3. Производительность смешанных лиственных древостоев по запасу

Fig. 3. Productivity of the mixed deciduous stands based on the growing stocks

Одним из факторов, отражающих производительность древостоя, наряду с запасом является средний диаметр. В работе Р.А. Зиганшина, А.В. Качаева, посвященной динамике средних диаметров лиственных древостоев лесного массива в Прибайкалье, отмечается, что «...в производственной таксации они [средние диаметры] определяются наиболее надежно» [14, с. 95], это,

в свою очередь, обеспечивает надежность конечных выводов. Различия средних диаметров в определенной степени отражают разницу в темпах формирования запасов смешанных древостоев, хотя следует отметить, что были сопоставлены средние диаметры только преобладающих пород (табл. 2).

Таблица 2

**Различия средних диаметров преобладающих пород  
в смешанных лиственных древостоях**  
**The differences in average diameters of predominant species  
in the mixed deciduous stands**

Группа возраста	Средний диаметр (см) в древостоях с преобладанием		Разница средних диаметров	
	осины	березы	см	%
Молодняки	5,5	3,1	2,4	43,6
Средневозрастные и приспевающие	17,6	15,5	2,1	11,9
Спелые	22,1	21,0	1,1	5,0
Перестойные	31,2	26,0	5,2	1,7

Из табл. 2 следует, что древостои, где осина является главной породой, на всех возрастных этапах имеют преобладание в темпах формирования средних диаметров, что неизбежно находит отражение в формировании запасов.

Обработка данных в пределах классов возраста позволила получить средние значения основных таксационных показателей с достаточно высокой точностью: по рядам высот точность опыта для всех насаждений, исключая молодняки, лежит в пределах 0,7–3,1 %; у молодняков этот показатель равен 7,0 %; для диаметров – соответственно 1,8–4,0 и 7,6 %.

Изменчивость средних высот для древостоев, кроме молодняков, – 3,6–16,3 %, у молодняков – 19,8 %. Варьирование средних диаметров в пределах классов возраста – 10,1–17,2 %, у молодняков – 31,4 %.

Полученные средние значения стали основой для математического моделирования таблицы динамики таксационных показателей смешанных лиственных древостоев. Оказалось, что динамика основных таксационных показателей главного и сопутствующего элементов леса в осиново-березовых древостоях, т. е. средних высоты, диаметра, запаса древостоев, а также рассчитанных по ним при помощи общеприменяемых зависимостей суммы площадей поперечного сечения древостоев, числа стволов на 1 га и среднего видового числа с достаточной степенью адекватности отображается функцией Вейбулла вида:

$$y = a - b \exp(-cx^d).$$

В табл. 3 приведены коэффициенты уравнений и показатели их адекватности.

Таблица 3

**Коэффициенты уравнений и показатели их адекватности  
для основных таксационных показателей смешанных лиственных древостоев  
The coefficients of the equations and the indicators of their adequacy  
for the major taxation parameters of the mixed deciduous stands**

Таксационный показатель	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	S	R <sup>2</sup>
<i>Осина</i>						
Средняя высота, м	34,743334	37,222143	0,051216762	0,7333378	0,42	0,998
Средний диаметр, см	209,494220	208,000400	0,002652302	0,9243837	2,11	0,974
Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> /га	36,655418	41,673533	0,096702529	0,4856498	0,27	0,998
Число стволов, шт./га	2378,168000	2310,281900	56,137109000	-1,4898536	4,03	0,998
Среднее видовое число	1,004738	0,560769	9,483937000	-1,4697599	0,002	0,999
Запас, м <sup>3</sup> /га	745,068100	756,272380	0,005196019	0,9471741	9,23	0,988
Среднее изменение запаса, м <sup>3</sup> /га	2,652011	1,540203	0,005264163	2,2809249	0,06	0,992
Текущее изменение запаса, м <sup>3</sup> /га	3,099993	0,993942	818,531140	-1,8983996	0,08	0,968
<i>Береза</i>						
Средняя высота, м	22,315422	19,239657	0,000581939	2,0061042	0,42	0,998
Средний диаметр, см	41,084243	41,882138	0,007342342	1,0831666	0,35	0,998
Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> /га	28,190128	28,733116	0,018805487	0,6142289	0,41	0,972
Число стволов, шт./га	12487,536000	12380,871000	34,402417000	-2,0634857	34,8	0,998
Среднее видовое число	0,688394	0,298548	78,750858000	-1,6827721	0,002	0,998
Запас, м <sup>3</sup> /га	205,222890	202,252530	0,000251208	1,6745303	2,87	0,986
Среднее изменение запаса, м <sup>3</sup> /га	2,523697	2,161022	0,006307354	0,8421572	0,04	0,958
Текущее изменение запаса, м <sup>3</sup> /га	2,073306	1,627204	5,8199421e-005	2,1532383	0,08	0,945

На основе полученных математических моделей построена таблица, отражающая динамику смешанных осиново-березовых древостоев. Фрагмент этой таблицы приведен ниже (табл. 4).

Таблица 4

**Динамика основных таксационных показателей смешанных  
осиново-березовых древостоев**  
**The dynamics of the basic taxation parameters of the mixed aspen-birch stands**

Возраст, лет	Средние		Сумма площадей сечения на 1 га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Изменение запаса, м <sup>3</sup> /га	
	высота, м	диаметр, см			среднее	текущее
<i>Осина</i>						
5	3,2	3,9	2,8	7	1,40	–
15	9,1	8,1	7,9	38	2,53	3,1
25	13,1	12,0	10,4	67	2,68	2,9
35	16,2	15,7	12,4	95	2,71	2,8
45	18,6	19,3	13,9	120	2,67	2,5
55	20,6	22,7	15,3	144	2,62	2,4
65	22,3	26,1	16,4	166	2,55	2,2
<i>Береза</i>						
5	3,3	1,0	0,7	2	0,40	–
15	5,4	4,6	2,6	8	0,53	0,6
25	9,0	8,1	3,2	14	0,56	0,6
35	13,0	11,4	3,5	20	0,57	0,6
45	16,6	14,4	4,3	30	0,67	1,0
55	19,1	17,2	5,0	40	0,73	1,0
65	20,8	19,8	5,7	49	0,75	1,1
<i>Древостой в целом</i>						
5	–		3,5	9	1,80	–
15			10,5	46	3,07	3,7
25			13,6	81	3,24	3,5
35			15,9	115	3,29	3,5
45			18,2	150	3,33	3,5
55			20,3	184	3,35	3,4
65			22,1	215	3,31	3,3

Динамика смешанных осиново-березовых древостоев имеет ряд особенностей. На стадии молодняка формируются древостои, в которых присутствие по количеству экземпляров обеих пород очень близко, иногда с преобладанием березы. Затем в ходе лесообразовательного процесса отпад березы происходит более интенсивно. Формирование стволов осины и березы также неодинаково. Стволы осины имеют большую полндревесность, средние значения видовых чисел для древостоев отдельных классов возраста у осины на 7–12 % превышают эти показатели у березы.

Средний диаметр древостоев по элементу «береза» с точки зрения темпов формирования отстает от среднего диаметра осины. Если средний прирост средних диаметров березы лежит в пределах 0,20–0,33 см, то для осины – в пределах 0,40–0,78 см. Причем характер изменения показателя различен: у осины максимум среднего прироста диаметров приходится на стадию молодняка, у сопутствующего элемента, березы, наступает только в IV классе возраста. Отстают, хотя и незначительно, древостои элемента леса «береза» и по средней высоте. Для осиново-березовых древостоев характерна простая форма, однако, образуя один ярус, высоты отдельных элементов леса имеют некоторые различия. Как следствие, осина в смешанном древостое продуцирует больший запас по сравнению с березой и является главной породой. На рис. 4 показана динамика среднего прироста объема одного ствола разных пород в древостое.

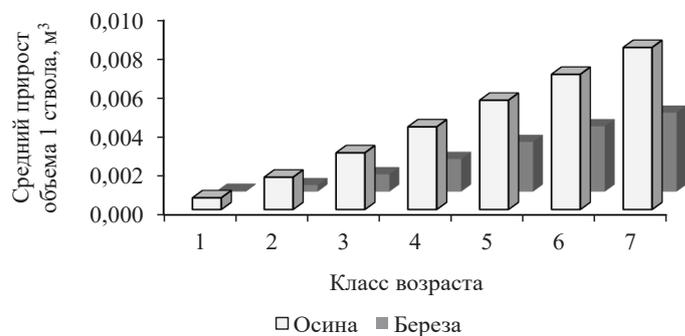


Рис. 4. Средний прирост объема одного ствола в осиново-березовых древостоях  
Fig. 4. Average increase in stem volume in the aspen-birch stands

Рассматриваемые биологические системы обладают значительными возможностями депонирования углерода из атмосферы. Однако в настоящее время нет единой общепризнанной методики подсчета эффективности данного процесса, о чем говорилось на 26-й конференции ООН в Глазго (31.10–12.11.2021), а также сказано в работах ряда исследователей [12, 22].

Вопросы реальной оценки способности различных древостоев поглощать углерод, установления их секвестрационного потенциала в последние годы стали весьма актуальными. В настоящее время на «карбоновых полигонах» развернуты исследования, включающие мониторинг динамики депонирования углерода в лесных экосистемах, секвестрационного потенциала пород, быстроты их роста и развития. В то же время уже накоплен значительный объем данных для разных лесорастительных зон как в России, так и за рубежом, хотя эти данные собраны по различным методикам [4, 5, 9–11, 18, 20, 24–27]. Однако уже сейчас специалистами Рослесинфорга сформирован рейтинг древесных пород по способности к поглощению углерода. Первое место в нем занимает осина, второе – береза. Ориентировочно 1 га осинового древостоя поглощает до 3,6 т CO<sub>2</sub>/год, а березового – до 3,3 т CO<sub>2</sub>/год.

Таким образом, осиново-березовые насаждения островных лесостепей являются значительными накопителями углерода и важным фактором в борьбе с парниковым эффектом, депонируя углерод в различных пулах.

По данным Д.Г. Замолодчикова, А.И. Уткина, Г.Н. Коровина [12], Д.Г. Замолодчикова, В.И. Грабовского, О.В. Честных [8], средний запас углерода в наземной и подземной фитомассе древостоев Российской Федерации составляет 42,6 т С/га, по данным В.А. Усольцева, для лесов Уральского

федерального округа – 43 т С/га [19, 20], по данным Рослесинфорга – 42,9 т С/га. В табл. 5 приводятся полученные с использованием конверсионных коэффициентов величины, характеризующие динамику запасов депонированного углерода наземной и подземной фитомассы осиново-березовых лесов островных лесостепей Средней Сибири – результат настоящей работы.

Таблица 5

**Динамика запасов углерода в надземном и подземном пулах  
смешанных осиново-березовых древостоев  
The dynamics of carbon stocks in the above-ground and underground  
pools of the mixed aspen-birch stands**

Возраст, лет	Запас углерода, т С/га		
	осина	береза	всего
5	3,1	1,1	4,2
15	13,3	3,1	16,4
25	21,4	5,3	26,7
35	27,8	7,2	35,0
45	29,9	8,0	37,9
55	36,3	10,7	47,0
65	41,8	13,3	55,1

*Заключение*

Зона островных лесостепей Средней Сибири характеризуется специфическими формами лесной растительности, и если хвойные сосновые и лиственничные древостои хозяйственно осваиваются человеком и в высокой степени расстроены, то лиственные древостои в основном выполняют стабилизирующую роль в экологической устойчивости территории.

В связи с обострением проблемы оценки секвестрационных потенциалов лесных участков перед лесным хозяйством страны, по-видимому, встанет вопрос разделения древостоев на наиболее хозяйственно ценные (хвойные, твердолиственные) и на обладающие наибольшим секвестрационным потенциалом. К последним можно отнести и рассматриваемые древостои.

В результате проведенных работ установлены особенности динамики отдельных элементов леса и возрастной структуры смешанных осиново-березовых древостоев, а также формирования состава древостоев и их производительности. Полученные данные позволяют судить о характере секвестрационных процессов в лесах Средней Сибири и могут быть использованы при разработке нормативов оценки запасов углерода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Антанайтис В.А., Репшис И.Н. Опыт инвентаризации лесов Литвы математико-статистическим методом. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 102 с.

Antanaitis V.A., Repshis I.N. *Experience of Inventory of Forests in Lithuania by the Mathematical-Statistical Method*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 102 p. (In Russ.).

2. Антипова Е.М. Флора северных лесостепей Средней Сибири: конспект. Красноярск: РИО КГПУ, 2003. 464 с.

Antipova E.M. *Flora of the Northern Forest-Steppes of Central Siberia: Synopsis*. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Pedagogical University Publ., 2003. 464 p. (In Russ.).

3. Антипова Е.М. Флора северных лесостепей Средней Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2008. 35 с.

Antipova E.M. *Flora of the Northern Forest-Steppes of Central Siberia: Doc. Biol. Sci. Diss. Abs.* Tomsk, 2008. 35 p. (In Russ.).

4. Бобкова К.С., Галенко Э.П., Тужилкина В.В., Осипов А.Ф., Кузнецов М.А. Роль бореальных лесов Европейского Севера России в регулировании углеродного баланса северного полушария // Управленческие аспекты развития северных территорий России: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Сыктывкар, 20–23 окт. 2015 г. Сыктывкар: КРАГСиУ, 2015. Ч. 3. С. 36–41.

Bobkova K.S., Galenko E.P., Tuzhilkina V.V., Osipov A.F., Kuznetsov M.A. The Role of Boreal Forests of the European North of Russia in Carbon Balance Regulation of the Northern Hemisphere. *Management Aspects of Development of the Northern Territories of Russia. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation*. Syktyvkar, KRASSA Publ., 2015, part 3, pp. 36–41. (In Russ.).

5. Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Круглов В.Б., Онучин А.А., Сухинин А.И., Шибистова О.Б. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сиб. экол. журн. 2005. Т. 12, № 4. С. 631–650.

Vaganov E.A., Vedrova E.F., Verkhovets S.V., Efremov S.P., Efremova T.T., Kruglov V.B., Onuchin A.A., Sukhinin A.I., Shibistova O.B. Forests and Swamps of Siberia in the Global Carbon Cycle. *Siberian Ecological Journal*, 2005, vol. 12, no. 4, pp. 631–650. (In Russ.).

6. Ващук Л.Н., Швиденко А.З. Динамика лесных пространств Иркутской области. Иркутск: Иркут. обл. тип. 2006. № 1, 392 с.

Vashchuk L.N., Shvidenko A.Z. *Dynamics of Forest Spaces of the Irkutsk Region*. Irkutsk, Irkutsk Regional Printing House, 2006, no. 1. 392 p. (In Russ.).

7. Высоцкий К.К. Закономерности строения смешанных древостоев. М.: Гослесбумиздат, 1962. 178 с.

Vysotsky K.K. *Regularity of Structure of Mixed Stands*. Moscow, Goslebumizdat, 1962. 178 p. (In Russ.).

8. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Честных О.В. Динамика баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Вопр. лесн. науки. 2018. Т. 1, № 1. С. 12–14.

Zamolodchikov D.G., Grabovsky V.I., Chestnykh O.V. Dynamic Pattern of Carbon Balance in the Forests of Federal Districts of the Russian Federation. *Forest Science Issues*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 12–14. (In Russ.). <https://doi.org/10.31509/2658-607X-2018-1-1-1-24>

9. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. Современное сокращение стока углерода в леса России // Докл. АН. 2017. Т. 476, № 6. С. 719–721.

Zamolodchikov D.G., Grabovsky V.I., Shulyak P.P., Chestnykh O.V. Recent Decrease in Carbon Sink to Russian Forests. *Doklady Biological Sciences*, 2017, vol. 476, no. 6, pp. 719–721. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0869565217300259>

10. Замолодчиков Д.Г., Иванов А.В. Запасы и потоки углерода в лесах Уссурийского лесничества согласно оценке по системе РОБУЛ // Аграр. вестн. Приморья. 2016. № 1. С. 12–15.

Zamolodchikov D.G., Ivanov A.V. Carbon Pools and Fluxes in Forests of the Ussuri Forestry According to Evaluation by the ROBUL System. *Agrarian Bulletin of Primorye*, 2016, no. 1, pp. 12–15. (In Russ.).

11. Замолодчиков Д.Г., Иванов А.В., Мудрак В.П. Запасы и потоки углерода на землях лесного фонда Приморского края при оценке по системе РОБУЛ // Аграр. вестн. Приморья. 2018. № 2. С. 46–51.

Zamolodchikov D.G., Ivanov A.V., Mudrak V.P. Carbon Pools and Fluxes on Forest Fund Lands of Primorsky Krai by Assessment Using ROBUL System. *Agrarian Bulletin of Primorye*, 2018, no. 2, pp. 46–51. (In Russ.).

12. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Определение запасов углерода по зависимым от возраста конверсионно-объемным коэффициентам // Лесоведение. 1998. № 3. С. 84–93.

Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Korovin G.N. Determination of Carbon Reserves by Conversion-Volumetric Coefficients Related to Age of Stands. *Forestry*, 1998, no. 3, pp. 84–93. (In Russ.).

13. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу основных лесобразующих пород России // Лесн. таксация и лесоустройство. 2003. Вып. 1(32). С. 119–127.

Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Chestnykh O.V. Conversion Rates of Planting Stocks into the Phytomass of the Main Forest-Forming Species of Russia. *Forest Taxation and Forest Management*, 2003, iss. 1(32), pp. 119–127. (In Russ.).

14. Зиганшин Р.А., Качаев А.В. Лесной массив: динамика средних диаметров лиственных древостоев ведущих типов леса // Сиб. лесн. журн. 2014. № 3. С. 91–106.

Ziganshin R.A., Kachaev A.V. Woodland: Dynamics of Deciduous Tree Stand Average Diameters of the Principal Forest Types. *Sibirskiy Lesnoy Zhurnal = Siberian Journal of Forest Science*, 2014, no. 3, pp. 91–106. (In Russ.).

15. Мелехов И.С. Лес // Лесная энциклопедия. Т. 1. М.: Совет. энцикл., 1985. С. 503–508.

Melekhov I.S. Forest. *Soviet Encyclopedia: Forestry Encyclopedia*. Moscow, 1985, vol. 1, pp. 503–508. (In Russ.).

16. Ревердатто В.В. Растительность Сибирского края (опыт дробного районирования) // Изв. РГО. 1931. Т. XVI, вып. 1. С. 43–70.

Reverdatto V.V. Vegetation of the Siberian Territory (Experience of Fractional Zoning). *Izvestiya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva = Proceedings of the Russian Geographical Society*, 1931, vol. 16, iss. 1, pp. 43–70. (In Russ.).

17. Семечкин И.В. Опыт использования данных глазомерной таксации для изучения динамики насаждений // Организация лесного хозяйства и инвентаризация лесов: сб. ст. Вып. 1. Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1962. С. 119–131.

Semechkin I.V. The Experience of Using Visual Survey Data to Study the Dynamics of Spaces. *Proceedings Organization Forestry and Forest Inventory: Collection of Articles*. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk Publishing House, 1962, iss. 1, pp. 119–131. (In Russ.).

18. Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В.А. Алексева, Р.А. Бердси. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994. 224 с.

*Carbon in the Ecosystems of Forests and Swamps of Russia*. Eds. V.A. Alekseev, R.A. Berd-si. Krasnoyarsk, Publishing House of the Institute of Forest SB RAS, 1994. 224 p. (In Russ.).

19. Усольцев В.А. Депонирование углерода лесами Уральского региона России (по состоянию Государственного учета лесного фонда на 2007 год): моногр. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 265 с.

Usoltsev V.A. *Carbon Sequestration by Forests of the Ural Region of Russia (on the Base of Forest State Inventory Data 2007): Monograph*. Yekaterinburg, Ural State Forest Engineering University, 2018. 265 p. (In Russ.).

20. Усольцев В.А., Филиппов Ю.В., Крапивина О.А., Усольцева Ю.В., Терентьев В.В., Шишкин А.В., Белоусов Е.В., Азаренок М.В., Ненашев Н.С. Совмещение баз данных о

запасах углерода и его годичном депонировании в лесных экосистемах Северной Евразии // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2004. № 8. Ч. 1. С. 44–46.

Usoltsev V.A., Filippov Yu.V., Krapivina O.A., Usoltseva Yu.V., Terentyev V.V., Shishkin A.V., Belousov E.V., Azarenok M.V., Nenashev N.S. Combining Databases on Carbon Stocks and its Annual Deposition in Forest Ecosystems of Northern Eurasia. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2004, part 1, no. 8, pp. 44–46. (In Russ.).

21. Черепнин Л.М. Растительный покров южной части Красноярского края и задачи его изученности // Уч. зап. Краснояр. пед. ин-та. 1956. Т. 5. С. 3–43.

Cherepnin L.M. Vegetation Cover of the Southern Part of the Krasnoyarsk Krai and the Tasks of its Study. *Scientific Notes of the Krasnoyarsk Pedagogical Institute*, 1956, vol. 5, pp. 3–43. (In Russ.).

22. Швиденко А.З., Щепашченко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 69–92.

Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Carbon Budget of Russian Forests. *Sibirskiy Lesnoy Zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2014, no. 1, pp. 69–92. (In Russ.).

23. Шевелев С.Л. Некоторые закономерности строения лесных массивов Каа-Хемского округа горно-таежных лесов Республики Тыва // Хвойные бореал. зоны. 2008. Т. XXV, № 1-2. С. 84–87.

Shevelev S.L. Some Laws of a Large Forest Stands Structure Kaа-Hemskiy Mountain-Taiga Woods of Tyva Republic. *Khvoynye boreal'noi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2008, vol. XXV, no. 1-2, pp. 84–87. (In Russ.).

24. Kiviste A., Korjus H. Forest Scenario Modelling for Optimal Adaptation to Possible Climate Change in Estonia. *Proc. Conf. "Forest Scenario Modelling at Landscape Level"*. Netherlands, Wageningen, 1997, pp. 1–10.

25. Matthews G. *The Carbon Content of Trees: Forestry Commission Technical Paper 4*. Edinburgh, Forestry Commission, 1993. 21 p.

26. Neumann M., Moreno A., Mues V., Härkönen S., Mura M., Bouriaud O., Lang M., Achten W.M.J., Thivolle-Cazat A., Bronisz K., Merganič J., Decuyper M., Alberdi I., As-trupm R., Mohren F., Hasenauer H. Comparison of Carbon Estimation Methods for European Forests. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 361, pp. 397–420. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.016>

27. Penner M., Power K., Muhairwe C., Tellier R., Wang Y. *Canada's Forest Biomass Resources: Deriving Estimates from Canada Forest Inventory. Information report BC-X-370*. Victoria, BC, Pacific Forestry Centre, 1997. 33 p.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest