и способствуют окислительному повреждению антиоксидантного фермента, которое в свою очередь приводит к понижению его активности в результате накопления избыточного количества перекисей, либо блокирования активного центра каталазы поллютантами. Таким образом, в условиях воздействия предприятия по производству строительных материалов формируются особые защитные механизмы листового аппарата *Betula pendula* Roth., проявляющиеся через изменение ряда ферментативных компонентов антиоксидантной защиты (на примере потенциальной активности каталазы). Большая степень ингибирования активности фермента может являться диагностическим признаком слабой устойчивости древесных растений к антропогенным нагрузкам.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Шималина, Н. С. Особенности про- и антиоксидантных систем Plantago major, длительное время произрастающего в зоне радиоактивного загрязнения // Экология. -2018. -№ 5. C. 333-341.
 - 2. Mittler, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance // Trends Plant Sci. 2002. Vol. 7 (9). P. 405–410.
- 3. *Кабата*—*Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата—Пендиас, Х. Пендиас. М. : Мир, 1989. 430 с.
- 4. *Черненькова, Т. В.* Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М. : Наука, 2002. С. 8–9, 20, 72–73, 91, 94–95.
- 5. *Прасад*, *М. Н.* Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами / М. Н. Прасад // Физиол. раст. 2003. Т. 50, № 5. С. 764–780.
- 6. *Федорова*, *Е. В.* Биоаккумуляция металлов растительностью в пределах малого аэротехногенного загрязненного водосбора / Е. В. Федорова, Г. Я. Одинцева // Экология. 2005. № 1. С. 26–31.
- 7. *Калинин Ф. Л.* Химическая регуляция метаболизма, роста и продуктивности растений / Ф. Л. Калинин // Физиол. и биохим. культ. раст. -1996. Т. 28, № 3. С. 123-140.
- 8. *Хочачка П*. Стратегия биохимической адаптации / П. Хочачка, Дж. Сомеро; пер. с анг. Ю. И. Лашкевича; под ред. Е. М. Крепса. М.: Мир, 1988. 586 с.
- 9. *Сарсенбаев*, *К. Н.* Роль ферментов в устойчивости растений / К. Н. Сарсенбаев, Ф. А. Полимбетова; отв. ред. И. Р. Рахимбаев. Алма-Ата : Наука Казах. ССР, 1986. 180 с.
- 10. Продукты перекисного окисления липидов как возможные посредники между воздействием повышенной температуры и развитием стресса-реакции у растений / Л. Н. Курганова и др. // Физиол. раст. 1999. Т. 46, № 2. С. 218-222.

СТОИМОСТНАЯ ОЦЕНКА УГЛЕРОДОДЕПОНИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ VALUATION OF THE CARBON-BEARING FUNCTION ON THE EXAMPLE OF FOREST PHYTOCENOSES OF THE BREST REGION

Я. Г. Смаль, В. М. Мисюченко Ya. Smal, V. Misiuchenka

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь yanchuk96@inbox.ru, vi925@mail.ru
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Анализируется вклад лесных фитоценозов разного возраста Брестской обл. в ежегодное углерододепонирование на основании нормативного документа Республики Беларусь по определению экосистемных
услуг. Определено, что наибольший вклад в стоимостную оценку ежегодного поглощения диоксида углерода
вносят молодняки и средневозрастные леса в связи с максимальным среднегодовым приростом и наибольшим поглощением диоксида углерода. Сделан вывод о необходимости определения углерододепонирующей
способности для каждой возрастной группы лесов отдельно. Оценка потенциала леса поглощать углерод
позволяет выявить проблему нехватки озелененности отдельных регионов.

The paper analyzes the contribution of forest phytocenoses of different ages in the Brest region to the annual carbon sequestration on the basis of the normative document of the Republic of Belarus on the definition of ecosystem services. It is determined that the greatest contribution to the cost estimate of annual carbon dioxide uptake is made by young and middle-aged forests due to the maximum annual average growth and the highest absorption of carbon dioxide. The conclusion about the need to define carbon-bearing abilities for each age class of forests separately. Assessment of the potential of forests to absorb carbon allows us to identify the problem of lack of greening individual regions.

Ключевые слова: лесные фитоценозы, экосистемные услуги, функции леса, углерододепонирующая функция, леса Брестской обл., породный состав, возрастной состав.

Keywords: forest phytocenoses, ecosystem services, forest functions, carbon-bearing function, forests of the Brest region, species composition, age composition.

В современном обществе важнейшим инструментом для осуществления концепции устойчивого развития является многогранное изучение и оценка любого предмета или явления. Для этого необходимо учитывать большое количество факторов, отображающих различные сферы жизни общества. Таким образом, возрастает проблема изученности данных элементов и их взаимосвязей, а также установление возможности их дальнейшей интеграции. Так, например, в лесном хозяйстве до недавнего времени оценка лесных фитоценозов включала в себя лишь количественные показатели, характеризующие древостои и биомассу. В настоящее же время данная оценка дополнена такой составляющей как «экосистемные услуги». Этот компонент определен одним из перспективных направлений в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г.

Экосистемные услуги – выгоды, которые люди извлекают из экосистем – динамичных комплексов сообществ растений, животных и микроорганизмов, и неживой среды, взаимодействующих как функциональное единство. Эти выгоды создаются непосредственно за счет взаимодействий внутри экосистем [1].

Оценка запасов древесины на корню составляет примерно 60% общей стоимости лесного комплекса, остальные 40% приходятся на важнейшие функции леса.

Одной из таких функций является углерододепонирующая, представляющая собой связывание атмосферного углерода с целью сбалансирования больших объемов выбросов углекислого газа в окружающую среду.

При фотосинтезе 1 га зеленых насаждений поглощается в среднем 8 π /ч углекислоты. Однако, разные виды деревьев и кустарников обладают неодинаковой интенсивностью фотосинтеза и поэтому продуцируют разное количество кислорода. Среди древесных растений умеренной климатической зоны наибольшей способностью ассимилировать CO_2 при расчете на поверхность и массу листьев обладают береза и бук, летнезеленое хвойное — лиственница имеет средние показатели; вечнозеленые хвойные — ель и сосна показывают наименьшую способность к поглощению углекислоты.

Депонирование растениями углекислого газа, поступающего в атмосферу от промышленных предприятий, происходит после преобразования его в усвояемую форму. Данный процесс зависит от освещения, и может протекать от нескольких часов до нескольких суток. Хвойные древесные породы (за исключением лиственницы), характеризуются меньшей интенсивностью фотосинтеза, в сравнении с лиственными деревьями. Однако в силу более продолжительного периода вегетации они обладают высокой его продуктивностью. Кроме того, следует отметить, что многие листопадные деревья имеют довольно высокую фотосинтетическую активность и в условиях низкой освещенности, а хвойные породы – только при достаточном количестве света.

В настоящее время наиболее оптимальным способом отображения ценности любого ресурса является стоимостная оценка, то есть определение его значимости в денежном выражении. Данный подход применим и к рассматриваемому случаю: лесным фитоценозам и выполняемыми ими функциями.

Согласно оценкам европейских экспертов, общий стоимостной объем экосистемных услуг может составлять несколько триллионов долларов в год. Причем лесные экосистемы являются источником всех четырех видов экосистемных услуг – ресурсосберегающих, регулирующих, культурных, поддерживающих. Существует термин «плата за экосистемные услуги», который включает два основных подхода:

- плата за то, чтобы экосистема оставалась источником соответствующих услуг (или давала больший их объем);
 - плата за сохранение услуг, которые находятся под угрозой

В мире создаются консорциумы в секторе лесного хозяйства для оценки потенциальной прибыльности платы за экосистемные услуги. Исследователи рассматривают 4 основных вида финансовых взаимоотношений: государственные схемы, частные схемы, государственно-частные схемы, схемы коммерческого обмена и природоохранные банковские/компенсационные схемы [2].

С целью адаптации отечественного и зарубежного опыта по применению стоимостной оценки экосистемных услуг, средообразующих функций, а также экономической ценности биологического разнообразия и внедрения оценки экосистемных услуг в Республике Беларусь разработан технический кодекс установившейся практики ТКП 17.02-10-2012 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Правила охраны природопользования (общие природоохранные требования). Порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и стоимостной оценки биологического разнообразия» (далее – ТКП 17.02-10-2012) [3].

Методика предполагает проведение расчета экономического эффекта, получаемого в результате использования природных ресурсов с учетом выделения экологической составляющей и дифференциации подвидов и типов экосистем. Основополагающими элементами данного ТКП 17.02-10-2012 являются действующие стоимостные подходы, в т.ч. таксовая стоимость за причинение вреда окружающей среде, а также количественные показатели фитоценозов и объемно-конверсионные коэффициенты. Указанный выше технический кодекс установившейся практики позволяет в долгосрочной перспективе сравнить экономический эффект при принятии решения о направлении использования территории.

В нашем исследовании ТКП 17.02-10-2012 принят за основу для апробации методики проведения стоимостных оценок на примере лесных фитоценозов Брестской области, в частности, на данном этапе — для определения ценности функции леса накапливать углерод.

Общая площадь лесного фонда данного региона по состоянию на 01.01.2018 год составляет 1 414 823 га и имеет тенденцию к увеличению. Наибольшие площади покрытых лесом земель характерны для Ивацевичского (12,7 %), Пружанского (10,4 %), Столинского (9,9 %) и Лунинецкого (9,8 %) р-нов.

Однако при рассмотрении такого показателя как лесистость, лидирующим является Ганцевичский р-н – 53,4 %, несколько меньшие значения у Ивацевичского (49,2 %) и Малоритского (45,8 %) р-нов. Минимальное значение, аналогично сравнению предыдущего показателя, имеет Жабинковский р-н – 17,6 %.

Положительная динамика также наблюдается относительно запасов древесных насаждений области, составляющих в настоящий момент 279 097,6 тыс. м³.

Лесные фитоценозы Брестской области представлены типичными для хвойно-широколиственных лесов древесными породами, с доминирующими в их составе сосняками, березняками, ольшанниками, дубравами и ельниками. Породный состав лесов области в распределении по регионам характеризуется относительной однородностью, которая сохраняется на протяжении последних десятилетий, что свидетельствует об устойчивости лесных экосистем и условий их произрастания.

Для оптимизации проведения оценки углерододепонирующей способности древесные породы данного региона были объединены в три группы: хвойные, твердолиственные и мягколиственные. На основании данных лесхозов Брестской области был сделан вывод о доминировании хвойных, субдоминировании мягколиственных и обладании несколько меньшими значениями твердолиственных пород лесных фитоценозов.

Характеризуя возрастной состав лесов области следует отметить, что средний возраст насаждений составляет 55 лет. Наибольшую долю занимают средневозрастные древесные насаждения, несколько меньшую – приспевающие (40,6%), на третьем месте – молодняки (35%), наименьшие площади заняты под спелыми и перестойными древостоями (8,0%).

Отображение данного распределения позволяет сформировать представление об экологическом состоянии лесов региона, что в свою очередь упрощает обобщение и анализ результатов проведения стоимостных оценок, а также выявление зависимостей.

Стоимостная оценка углерододепонирующей способности $(O_{y\partial t})$ является одним из видов поэлементной сто-имостной оценки.

Первым этапом данной оценки является расчет оценки ежегодной углерододепонирующей способности лесов в натуральном выражении (A, т), который базируется на следующей зависимости:

$$A = \sum_{ij} V_{ij} \cdot K_{o.K.} \cdot K_n \cdot I \cdot K_{\phi} \cdot S_{ij}, \tag{1}$$

где V_{ij} — объемный показатель среднего изменения запаса стволовой древесины (средний ежегодный прирост). Для его нахождения используются такие показатели как фактический возраст насаждений и древесный запас i-ой лесообразующей породы j-ой возрастной группы (в разрезе I и II групп леса). Фактический возраст возрастных групп лесов был определен ранее при расчете интегральной стоимостной оценки экосистемных услуг; древесный запас определялся в соответствии с данными лесного кадастра. Через отношение запаса лесообразующих пород к фактическому возрасту насаждений определен средний ежегодный прирост (\mathbf{m}^3 /га в год);

 $K_{o.\kappa}$ — объемно-конверсионные коэффициенты для перевода объемного запаса стволовой древесины (м³/га) в массу отдельных фракций фитомассы (т/га) приняты согласно значениям приложения 11 ТКП 17.02-10-2012.

 K_n – переводной коэффициент, представляющий собой отношение запаса углерода к объему (равен 0,5).

I – коэффициент перевода пулов углерода в количество диоксида углерода; принят на уровне 3,67.

 K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий запас углерода в органическом веществе почвы и мортмассе (принят на уровне 2,04).

 S_{ii} – площадь оцениваемого участка насаждений і-й породы ј-го типа леса, га.

Вследствие недостаточной изученности запасов органического вещества и торфа на облесенных площадях, полностью учесть с помощью конверсионно-объемного метода их количество пока не представляется возможным. При укрупненных расчетах содержание углерода в органическом веществе почвы принимаем на основании данных существующих исследований в размере 50 % от общего запаса органического углерода в лесных биогеоценозах. Морт-масса не играет существенной роли в накоплении углерода (ее вклад в общий углеродный запас живых насаждений не превышает 1 %). Таким образом, коэффициент K_{ϕ} определим из выражения:

$$K_{\Phi} = 100 / (100 - 50 - 1) = 2,04.$$

Стоимостная оценка ежегодного поглощения диоксида углерода лесной экосистемой $(O_{yдn}, \in)$ определяется по формуле:

$$O_{YAJ} = \coprod_{CO_2} \times A, \tag{2}$$

где A — аккумуляция диоксида углерода (CO2) лесной экосистемой; рассчитываемая по предыдущей формуле, т/ од; Ц_{CO_2} — средняя мировая цена поглощения 1 т CO_2 (принята на уровне 10 долл. США или 8,6 € по курсу Национального банка Республики Беларусь на дату проведения оценки).

Согласно проведенным расчетам по формуле 1, наибольшее накопление диоксида углерода характерно для Пружанского р-на (4 311 676,3 т), субдоминанта — Ивацевичского р-на (3 815 436 т) и Барановичского района (2

961 298,1 т). Наименьшим значением характеризуется Жабинковский р-н (258 775,2 т). Суммарное депонирование углерода лесными экосистемами области за данный период составляет 31 400 354,1 т.

Следующим этапом стало непосредственно определение стоимостной оценки углерододепонирующей способности лесных экосистем Брестской обл. $(O_{y\phi x})$. На рис. представлены полученные результаты в разрезе районов

Как видно из рис., наибольшую стоимость в данном отношении имеют леса Пружанского (37 080 420 €) и Ивацевичского (32 812 750 €) р-нов. Наименьшие результаты отмечаются в Жабинковском р-не (2 225 466 €).

Стоимость углерододепонирующей функции лесов области за исследуемый период составит 2 700 430 450 €.

Наибольший вклад в стоимостную оценку ежегодного поглощения диоксида углерода вносят средневозрастные леса, субдоминант на большей части территории области — молодняки, за исключением Пружанского и Каменецкого р-нов (спелые и перестойные), а также Березовского и Ивацевичского (приспевающие).

Данное распределение обусловлено тем, что молодняки и средневозрастные насаждения имеют максимальный среднегодовой прирост и наибольшее поглощение CO₂.

По таблицам хода роста видно, что к возрасту спелости замедляется прирост и происходит общее снижение показателей. Таким образом, углерододепонирующую функцию такие насаждения выполняют в меньшей степени, поэтому для наиболее полного представления данный показатель необходимо определять для каждой возрастной группы отдельно.

Оценка потенциала леса поглощать углерод позволяет выявить проблему нехватки озелененности отдельных регионов.

Результат проведенной работы показывает, что учет даже одной из функций леса – углерододепонирующей способности, существенно увеличивает стоимость лесных фитоценозов.

Оценка элементов природного капитала значительно расширяет представления о ценности экосистем, в т.ч. экономической. Поэтому возникает необходимость проведения новых исследований в данном направлении. Данные исследования могут быть использованы для разработки схемы регулирования рационального и устойчивого лесопользования, включая снижение концентрации CO_2 на определенных территориях, а также для оценки и обоснования налогов, рентных платежей и штрафов при возмещении вреда, нанесенного экосистеме.

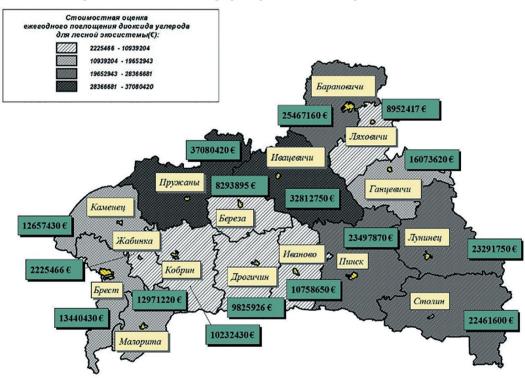


Рисунок — Стоимостная оценка углерододепонирующей способности лесов Брестской обл. по районам $(O_{_{\mathrm{v0}}})$

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Доклад по проекту ЮНЕП «Оценка экосистем на пороге тысячелетия», 2005. Экосистемы и благосостояние человека: возможности и испытания для бизнеса и производства. Вашингтон, округ Колумбия: Институт мировых ресурсов, 2005. 34 с.
 - 2. Экосистемные услуги //Лесное и охотничье хозяйство. Минск, 2015. № 5. С. 13–16.
- 3. Порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия. Охрана окружающей среды и природопользование: ТКП 17.02–10–2012 (02120). – Введ. 15.03.13. – Минск: РУП «Бел НИЦ «Экология», 2013. – 22 с.